



REF : 27 MAY 2005  
WIPO PCT

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 26 AVR 2005

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

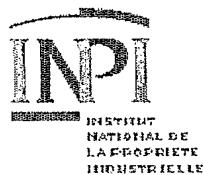
Martine PLANCHE

#### DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)





## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

26bis, rue de Saint-Pétersbourg  
75800 Paris Cédex 08  
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livreVI  
REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	CABINET GRYNWALD M. Albert GRYNWALD 127 rue du Faubourg Poissonnière 75009 PARIS France
Vos références pour ce dossier: B10972-2	

<b>1 NATURE DE LA DEMANDE</b>		
Demande de brevet		
<b>2 TITRE DE L'INVENTION</b>		
DISPOSITIF DE SECURISATION DE STOCKAGE, DE TRANSPORT, DE MANUTENTION DE PRODUITS DANGEREUX, COMBUSTIBLES, COMBURANTS, CORROSIFS, TOXIQUES ET/OU POLLUANTS		
<b>3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE</b>	Pays ou organisation	Date
<b>4-1 DEMANDEUR</b>		
Nom Prénom Rue Code postal et ville Pays Nationalité	DES CLERS BERTRAND 9 quai Malaquais 75006 PARIS France France	
<b>5A MANDATAIRE</b>		
Nom Qualité Affaire suivie par Rue Code postal et ville N° de téléphone N° de télécopie Courrier électronique	CABINET GRYNWALD Cabinet CPI, Pas de pouvoir M. Albert GRYNWALD 127 rue du Faubourg Poissonnière 75009 PARIS 01 53 32 77 35 01 53 32 77 94 agrynwald@cabinetgrynwald.com	
<b>6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS</b>		
Texte du brevet Dessins Désignation d'inventeurs	Fichier électronique textebrevet.pdf dessins.pdf	Pages 91 7
<b>7 MODE DE PAIEMENT</b>		
Mode de paiement	Virement bancaire	

**8 RAPPORT DE RECHERCHE**

Etablissement immédiat

**9 REDEVANCES JOINTES**

	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
068 Revendication à partir de la 11ème	EURO	15.00	16.00	240.00
Total à acquitter	EURO			560.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

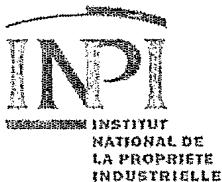
Signé par

Signataire: FR, Cabinet Grynwald, A.Grynwald

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

CABINET GRYNWALD (Mandataire 1)



## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

### Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet :

Demande de CU :

<b>DATE DE RECEPTION</b>	25 mars 2004	
<b>TYPE DE DEPOT</b>	INPI (PARIS) - Dépôt électronique	Dépôt en ligne: <input checked="" type="checkbox"/> Dépôt sur support CD:
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI</b>	0450595	
<b>Vos références pour ce dossier</b>	B10972-2	

#### DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	BERTRAND DES CLERS
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

#### TITRE DE L'INVENTION

DISPOSITIF DE SECURISATION DE STOCKAGE, DE TRANSPORT, DE MANUTENTION DE PRODUITS DANGEREUX, COMBUSTIBLES, COMBURANTS, CORROSIFS, TOXIQUES ET/OU POLLUANTS
---

#### DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	application-body.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	fee-sheet.xml
FR-office-specific-info.xml	Comment.PDF	textebrevet.pdf
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	request.xml

#### EFFECTUE PAR

Effectué par:	A.Grynwald
Date et heure de réception électronique:	25 mars 2004 19:32:32
Empreinte officielle du dépôt	51:26:78:63:80:E0:30:92:DA:DE:43:1F:DB:A7:CE:B6:A6:E2:F2:43

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL  
 INSTITUT 26 bis, rue du Saint Petersbourg  
 NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08  
 LA PROPRIETE Téléphone : 01 53 04 53 04  
 INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

**DISPOSITIF DE SECURISATION DE STOCKAGE, DE TRANSPORT, DE  
MANUTENTION DE PRODUITS DANGEREUX, COMBUSTIBLES,  
COMBURANTS, CORROSIFS, TOXIQUES ET/OU POLLUANTS**

La présente invention se rapporte à un dispositif destiné à sécuriser le stockage, le transport, même en cas de collision/impact accidentel, la manutention, de produits dangereux par exemple combustibles et/ou explosifs, notamment de carburants dont les vapeurs, en présence de l'oxygène atmosphérique, présentent un danger d'inflammation et/ou d'explosion spontanée.

Elle permet aussi d'éviter ou de réduire considérablement le risque d'un déversement massif d'un produit dangereux, toxique et/ou polluant dans le milieu environnant.

Les réalisations de l'invention sont destinées à contrôler le danger en éliminant le risque à la source, c'est-à-dire en empêchant que ces produits soient mis en contact ou mélangés notamment avec l'oxygène atmosphérique. La grande réactivité des produits concernés en présence d'oxygène, et en particulier l'emballage de certaines réactions de branchement en chaîne, ajoutée à la non-homogénéité des atmosphères explosives en milieu industriel peuvent, même en

l'absence d'une source d'inflammation traditionnelle, aboutir à l'apparition d'un premier noyau de flamme et d'un départ de feu.

On rappelle ici que, selon la Législation 5 Européenne, on entend par atmosphère explosive un mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques, de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières, dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du 10 mélange non brûlé.

Pour assurer la sécurité de tels produits réactifs, il faut d'abord s'assurer de leur stabilité lors de leur livraison par l'unité de fabrication du fournisseur ; il faut ensuite la contrôler au fil du temps et, si 15 nécessaire, la rétablir par des moyens appropriés.

Ensuite, afin de prévenir tout accident, la séparation physique de ces produits et de l'oxygène atmosphérique doit être maîtrisée en permanence, pendant toute opération de stockage, de manutention et de 20 transport.

## I. Art antérieur

En laboratoire, les produits réactifs dangereux, 25 combustibles ou non, sont soumis à une réglementation et à des consignes d'utilisation et de stockage très strictes : quantité maximale par conteneur, température maximale de stockage et d'utilisation, date de péremption, entre autres, sont prescrites par le 30 fournisseur. Le produit est étiqueté en indiquant sa composition exacte ( pourcentage de produit pur, quantité et nature des impuretés, date de fabrication et de péremption).

En milieu industriel, le stockage, le transport et 35 la manutention de produits potentiellement à risques,

5 tels que les matières combustibles, dénommées par la suite carburants, et les produits susceptibles d'inflammation et/ou d'explosion lorsqu'ils sont mis en contact avec de l'air sont, par définition des activités plus ou moins dangereuses qui font aussi l'objet de réglementations strictes, de normes de sécurité sévères et de procédures opérationnelles prudentes basées sur l'expérience. Les opérateurs ne disposent pas, par contre, comme c'est le cas en laboratoire, de 10 compositions initiales exactes ni de conditions homogènes en cas de mélange éventuel à de l'air.

15 En matière de sécurité-incendie, l'apparition d'une flamme et sa propagation dans une atmosphère explosive sont gouvernées par un Credo baptisé le « Triangle du Feu », qui a été élaboré à partir d'expériences thermochimiques en laboratoire, et dont les résultats, extrapolés à l'échelle industrielle, délimitent les 20 conditions de pression, température, concentrations relatives de carburant et de l'oxydant (air ou oxygène), pour lesquelles le mélange n'est pas inflammable. Cette approche traditionnelle s'avère cependant inadéquate et n'assure pas la sécurité totale attendue.

25 Pourtant, la recherche dans les domaines de la cinétique chimique, de la thermodynamique et de la mécanique des fluides effectuée et validée expérimentalement lors des dernières décennies, a démontré que le « Triangle du Feu » était une approche trop simpliste, incapable de prévoir ni d'expliquer certains accidents majeurs en matière d'incendie ou 30 d'explosion.

35 Ces connaissances doivent être utilisées par les opérateurs industriels pour qu'ils puissent assurer la sécurité. Le dispositif découlant de l'invention est destiné à remplir ce rôle dans le cadre des opérations énumérées ci-dessus.

### • Pour les carburants

L'art antérieur nous apprend que ce sont notamment  
5 les carburants gazeux, liquides ou solides, exposés à  
l'air, qui sont susceptibles de brûler et/ou d'exploser  
de manière imprévue et donc qui intéressent plus  
particulièrement la sécurité industrielle ; il s'agit  
10 par exemple de l'hydrogène, des hydrates de carbone et  
hydrocarbures, de matières combustibles naturelles ou  
synthétiques et de poussières métalliques ou organiques.

Ces carburants ont tous pour propriété de s'oxyder  
au contact de l'oxygène présent dans l'air ; cette  
oxydation se produit lorsqu'un carburant gazeux est  
15 mélangé à de l'air, ou bien à l'interface de l'air avec  
la phase vapeur d'un carburant liquide ou solide, ou  
encore lorsque l'oxygène se trouve dissous ou en  
suspension sous forme de bulles d'air dans un carburant  
liquide. Pour un carburant solide, les vapeurs  
20 combustibles qui sont présentes à sa surface par suite de  
sa décomposition, son évaporation ou sublimation, sont  
dangereuses surtout si elles offrent un important  
interface avec l'air interstitiel, par exemple lorsque le  
carburant est sous forme de particules, de grains, de  
25 poussières, de fibres ou de feuilles.

Ces réactions d'oxydation peuvent, même sans  
« Source d'Inflammation », aboutir à un simple auto-  
échauffement local et temporaire, freiné puis stoppé par  
épuisement local de l'oxygène ou ralenti par  
30 conduction/convection de la chaleur à travers une paroi  
proche, mais aussi aboutir à un feu couvant, à une flamme  
« froide » et même à un départ de feu spontané dans le  
mélange air-gaz/vapeurs combustibles, se transformant  
éventuellement en incendie et même en déflagration,  
35 capable de libérer en un laps de temps très court

(quelques secondes ou même fractions de seconde) des quantités très importantes de chaleur et des volumes considérables de gaz brûlés et imbrûlés à haute température, inflammables, explosifs, toxiques et/ou 5 polluants. De tels dégagements de chaleur et de gaz, dans des espaces confinés ou semi-confinés, peuvent, de plus, dégénérer en une ou plusieurs explosions du fait de la thermodynamique des fluides qui en résulte.

C'est pourquoi la prévention de départ de feu est 10 un souci majeur pour les opérateurs industriels notamment pétroliers et chimiques, mais aussi agroalimentaires, ainsi que pour les ateliers de transformation de ces produits, tant au cours de leur fabrication qu'au cours de leur stockage, leur manutention, leur conditionnement, 15 leur transport.

Le déversement accidentel dans le milieu ambiant de carburants ou de produits explosifs et/ou toxiques peut aussi constituer un incident ou accident majeur.

Bien que peu fréquents heureusement, de tels 20 accidents, lorsqu'ils sont imprévus, peuvent être catastrophiques pour les biens et les personnes, notamment dans un véhicule, dans un aéronef, sur un navire ou sur un site industriel stockant ou traitant des carburants/produits explosifs, ou bien encore dans un 25 environnement dans lequel l'incendie/explosion/pollution peut se propager en zone périphérique.

Comme il a été mentionné plus haut, l'art antérieur a défini des critères destinés à permettre de délimiter les domaines de danger d'emploi des carburants ; ce Credo 30 a été baptisé le « Triangle du Feu ». Le Triangle du Feu établit trois conditions nécessaires pour que l'inflammation d'un carburant puisse avoir lieu et suffisantes pour que l'absence d'une d'entre elles garantisse à l'opérateur une totale sécurité ; il faut :

1. La présence d'une « *source d'inflammation* » : flamme, étincelle, point chaud, apportant au mélange une certaine quantité d'énergie,

2. La présence d'un carburant :

5 sous forme de gaz ou de vapeurs, de gouttelettes, de brouillard, de poussières, et,

3. La présence d'un comburant (notamment l'oxygène) :

10 dans des proportions, relatives à celle du carburant, qui sont fixées par des « limites d'inflammabilité».

D'autres conditions nécessaires pour que l'inflammation puisse avoir lieu ont été rajoutées par l'art antérieur [voir Ref. « LES MÉLANGES EXPLOSIFS », 15 Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Ed. 335, Paris, 1994] :

1. le mélange carburant-comburant doit être à une certaine pression minimale,

20 2. pour un mélange donné, il existe une « température minimale de sécurité de la limite inférieure d'inflammabilité »,

25 3. il existe « une certaine valeur de la concentration (par volume) du mélange en oxygène, particulière à chaque carburant et comprise généralement entre 10 et 15%, (au-dessous de laquelle) ... l'inflammation ne se produit plus »,

30 4. -l'addition de « volumes d'azote ou de dioxyde de carbone (dans l'air) permet d'atteindre (des) proportions inoffensives d'oxygène dans le mélange, ... interdisant son inflammation en le rendant (le mélange) « inerte ».

35 C'est pour cette raison qu'à la suite d'une série d'accidents consécutifs impliquant un départ de feu imprévu et inexpliqué de grands réservoirs d'avions

civils gros porteurs, l'industrie aéronautique, par exemple, a porté en premier ses efforts pour tenter d'identifier (sans succès) et s'assurer que toute présence ou occurrence accidentelle d'une source 5 d'inflammation à l'intérieur des atmosphères explosives que constituent actuellement les mélanges air-vapeurs de carburant qui remplissent les espaces libres des réservoirs, serait écartée.

L'art antérieur a, de plus, fixé des normes, sur la 10 base d'expérimentation en laboratoire, précisant quelle doit être l'*« énergie minimale d'inflammation »* que devrait fournir notamment une étincelle, valeur au-dessous de laquelle il n'y a pas de danger de départ de feu. La présence d'une *« source d'inflammation »* 15 (étincelle électrique, flamme ou point chaud), apportant au mélange un appoint d'énergie ou une élévation de température est considérée comme nécessaire (Sommet du *« Triangle du Feu »*). Cette source d'inflammation est couramment liée dans l'esprit des ingénieurs et des 20 opérateurs à l'étincelle d'un court-circuit électrique ou bien au point chaud généré par un frottement mécanique.

En conséquences les normes prescrites par l'art antérieur imposent des spécifications visant à empêcher l'occurrence d'une étincelle ou d'un *« point chaud »*, 25 sources d'inflammation, pour tout appareillage électrique et matériel mécanique et/ou motorisé dans les installations industrielles de stockage, de transport ou de manutention à l'intérieur desquelles une atmosphère explosive pourrait se développer. A contrario, l'absence 30 démontrée de toute présence apparente d'une source d'inflammation dans une atmosphère explosive entraîne, aujourd'hui encore, de façon dogmatique, la notion d'absence de tout danger et donc de risque zéro de départ de feu et/ou d'explosion, alors qu'il s'agit d'un 35 sentiment de sécurité erroné.

L'art antérieur a défini les conditions de température, de pression et de concentrations de vapeurs de carburant et d'oxygène pour lesquelles une atmosphère est considérée comme sans danger, dénommées « limites 5 d'inflammabilité », hors desquelles un départ de feu ne peut avoir lieu ni une flamme se propager. Des diagrammes binaires ou ternaires (combustible/oxygène/azote-gaz inerte) de limites d'inflammabilité (ou d'explosibilité) ont été établis selon des protocoles expérimentaux 10 normalisés. Hors de ces limites, l'art antérieur déclare que la sécurité est assurée. Il est possible de modifier ces limites en introduisant d'autres produits sous forme de gaz/vapeurs dans le mélange, susceptibles par exemple 15 d'inhiber les réactions chimiques ou au contraire de les accélérer notamment par catalyse.

L'art antérieur admet couramment aujourd'hui qu'une atmosphère constituée de vapeurs de carburant et d'air peut être rendue ininflammable, et donc sans danger, par « *inertage* », en prenant des mesures pour que la 20 concentration par volume en oxygène de celle-ci, par dilution avec un gaz inerte tel que l'azote, soit réduite en dessous d'une valeur empirique qui la placerait en dehors des limites d'inflammabilité.

Lorsqu'on est en présence de carburants liquides et 25 de leurs vapeurs à l'équilibre en contact avec l'air, l'art antérieur, d'après des mesures à très petite échelle en laboratoire, définit aussi pour chaque carburant liquide son « *point d'éclair* » et son « *point de feu* » au contact de l'air, température initiale au- 30 dessous de laquelle le carburant est considéré respectivement comme ininflammable ou incapable d'assurer la propagation de la flamme à sa surface.

L'art antérieur définit également pour les carburants (gaz, vapeurs ou liquides en contact ou 35 mélangés à de l'air, une « *température minimale d'auto-*

*inflammation* », déterminée expérimentalement, à laquelle le carburant s'enflamme spontanément. Les valeurs publiées se situent pour les hydrocarbures en général à plusieurs centaines de degrés Celsius.

5

• Pour les autres produits dangereux qui risquent de s'enflammer ou d'exploser au contact de l'air ou d'une source d'inflammation

10

Pour ceux-ci, on admet, en laboratoire, qu'il suffit de les emballer et/ou de les contenir dans des récipients ou réservoirs imperméables au produit et à ses vapeurs, fermés de façon étanche, empêchant ainsi l'air ambiant d'y pénétrer et le produit de se déverser dans le milieu ambiant. Les produits explosifs sont souvent auto-réactifs, notamment par auto-oxydation et/ou auto-catalyse et sont livrés à l'utilisateur, comme les carburants, avec une date limite d'utilisation et des recommandations quant à leur température de stockage et/ou d'utilisation.

15

De nombreux produits chimiques, tels que les peroxydes notamment, ont la particularité de devenir dangereux, notamment auto-inflammables et/ou explosifs lorsqu'ils sont mis au contact de l'air; d'autres produits sont susceptibles, mis accidentellement en présence d'un catalyseur, de dégager d'énormes volumes de gaz et de vapeurs, parfois à haute température, inflammables ou non, capables de générer des surpressions dangereuses et de constituer un risque d'accident majeur.

20

Les industriels appliquent bien sûr des consignes strictes et des modes opératoires basés sur les normes et l'expérience, pour éviter le déversement de ces produits dans le milieu ambiant. Des prescriptions chiffrées, en fonction de la nature des produits, indiquant leur dangerosité, sont publiées.

35

## II. Les problèmes de l'art antérieur

Des accidents industriels majeurs, impliquant  
5 l'incendie et/ou l'explosion de grands volumes de carburants, le déversement massif de produits inflammables, polluants et/ou toxiques dans le milieu ambiant, continuent à se produire, entraînant des dégâts matériels importants, des pertes d'emploi, mais aussi des  
10 blessés et des décès.

L'art antérieur ne parvient ni à empêcher ni à expliquer ces accidents, qui continuent à se produire.

### • Pour les carburants :

15 Selon le credo qui sert de base aux normes actuelles, l'inflammation d'un carburant, à pression et à température atmosphériques, au contact de l'air environnant, requiert nécessairement une source d'inflammation (apport d'énergie) extérieure.

20 Toutefois, ce credo a démontré à ce jour son incapacité à prévoir et, ensuite, à identifier de façon certaine la cause d'incendies/explosions accidentelles majeures récentes, aussi diverses que celle de l'usine AZF de Toulouse (France) en Septembre 2001, celle de l'aéronef du vol 800 de la Compagnie TWA, en Juillet 1998 au large de la ville de New York (Etats-Unis), ni celle du silo de Blaye, Août 1997 (France). Les enquêtes officielles minutieuses effectuées sur ces accidents indiquent que l'incendie/explosion du carburant respectivement gélules d'engrais, vapeurs d'hydrocarbures et poussières de céréales) stocké dans des conditions atmosphériques, en présence d'air, s'est produite sans qu'aucune source d'inflammation ait pu être incriminée. De même, les incendies de réservoirs d'avions gros porteurs qui ont eu lieu depuis cette date - Thai  
25  
30  
35



Airways/2001 (Thaïlande), China Airlines/2002 (Chine) - sont restés inexpliqués.

Aux Etats-Unis, un Rapport du gouvernement indique qu'il se produit en moyenne treize explosions majeures de silos à grain chaque année - 14 en 1995, 13 en 1996, 16 en 1997 - entraînant des centaines de morts et de blessés et des dégâts matériels très importants (par exemple le 8 Juin 1998, l'explosion d'un silo à grains de sept cent mètres de long à Wichita, Kansas/USA, a provoqué la mort 10 de 7 personnes et en blesse 10 autres).

D'après les analyses récentes d'accidentologie des carburants aux USA, l'essence pour moteurs à explosion est le produit majoritairement impliqué ; pour les autres cas, près de 7000 accidents sont répertoriés 15 en 1985 par l'Environmental Protection Agency (EPA), et il s'avère que, en ce qui concerne les autres produits dangereux (carburants), ces accidents se produisent dans soixante quinze pour cent des cas dans des conditions industrielles - dont 40% lors du stockage/entreposage, 20 ruptures de conduites et valves, 46% « inconnus ou autres » et 14% seulement lors de fabrication - et dans vingt cinq pour cent des cas lors de leur transport, dont 54,5% pour le camionnage, 14% pour le rail, 3,8% par bateau, 3,1% par pipeline et 2,5% « autres ».

25 Les techniques expérimentales concernant les flammes, leur initiation et leur propagation sont délicates à mettre en œuvre. Elles sont habituellement effectuées dans des appareils de laboratoire de petites dimensions par rapport aux environnements industriels, 30 impliquant généralement des effets chimiques ou physiques de paroi de l'appareillage sur le mélange réactif, par catalyse ou bien au contraire par terminaison des réactions, par transfert de chaleur ou autres conditions limites. D'autre part, dans les cas de pré-mélange 35 carburant-comburant, ni l'historique ni le temps de

contact pré-inflammation, ni l'état (pression, température, composition, manque d'homogénéité) du mélange gaz/vapeurs combustibles et de l'air (ou de l'oxygène) avant le début des mesures, ne sont 5 suffisamment pris en compte (on néglige tout phénomène d'hérédité).

On peut ainsi constater que les « atmosphères explosives » industrielles, éloignées des conditions de laboratoire de par:

- 10 - leur volume suffisamment grand pour pouvoir négliger les effets de paroi,
- la durée éventuelle importante du temps de contact carburant-comburant,
- la non-homogénéité habituelle de concentration 15 (phénomènes de nucléation ou de suroxygénéation locale par exemple), et de température,
- la présence d'impuretés (pouvant agir en tant que catalyseurs/oxydants),

peuvent s'enflammer spontanément, même à 20 température et à pression atmosphérique, sans aucune nécessité de source identifiable extérieure d'inflammation, après un délai d'induction non infini, d'autant plus court que la température du mélange est élevée. La cinétique chimique, dans ses démarches de modélisation, qui admet l'auto-inflammation des mélanges 25 combustibles, est ignorée par les ingénieurs.

Il est pourtant admis aujourd'hui que les techniques de mesure en laboratoire des critères qui déterminent les « limites d'inflammabilité » devraient 30 être revues. Des recherches approfondies mériteraient d'être entreprises, pour donner des résultats transposables en toute sécurité aux conditions réelles d'utilisation des carburants en milieu industriel.

De plus, en ce qui concerne les valeurs 35 caractéristiques publiées pour chaque carburant d'une

« température d'auto-inflammation », il est déjà déclaré par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) que ces mesures, qui donnent des chiffres très élevés (souvent plusieurs centaines de degrés Celsius) 5 « diffèrent selon leur mode de détermination », quelquefois « sensiblement ».

#### Comment expliquer ces difficultés ?

10 En milieu industriel, contrairement aux mesures de précaution imposées en laboratoire, les risques d'auto-oxydation des carburants dans le temps ne sont en général pas suffisamment pris en compte. Or la théorie et la pratique démontrent qu'il se produit le plus souvent -et 15 tout naturellement puisqu'il s'agit de produits réactifs - un « vieillissement » des produits dangereux et des carburants dû à la présence d'impuretés réactives. Ce vieillissement peut avoir lieu soit par décomposition, soit par auto-oxydation ou auto-catalyse, soit par 20 oxydation due à leur contact avec l'air ou catalyse due aux impuretés ou effets de paroi, qui se déroulent, dans un premier temps, au niveau d'un très petit nombre d'atomes/molécules produisant, par l'intermédiaire de certaines réactions de ramification en chaîne, un 25 excédent notamment d'atomes, de radicaux libres et autres produits réactifs. Ces réactions initiales ont lieu de manière « isotherme » (et donc non-détectées) à l'échelle macroscopique (car elles impliquent un très petit nombre de molécules) c'est-à-dire sans dégagement de chaleur 30 notable. Dans certaines conditions, l'auto-inflammation qui s'ensuit ne requiert en tous cas aucun apport extérieur d'énergie significatif, c'est-à-dire sans qu'aucune « source d'inflammation » classique puisse être identifiée.

A défaut de permettre une explication des incendies/explosions qui se sont produits lors du simple contact ou mélange d'un carburant et de l'air dans des conditions pratiquement atmosphériques, sans que les 5 enquêtes minutieuses aient pu identifier la moindre présence d'un apport d'énergie par une source extérieure, aucune mesure destinée à prévenir de façon adéquate ce type d'accident n'a pu être prise, de telle sorte que de nouveaux accidents semblent inévitables.

10 L'art antérieur a effectué de nombreux travaux de modélisation des réactions chimiques qui ont permis de confirmer la complexité des processus réactionnels d'inflammation des carburants, suggérant plusieurs centaines de réactions et de produits intermédiaires, et 15 ceci pour des produits simples, purs et identifiés. Or, les analyses de carburants industriels, par exemple par chromatographie en phase gazeuse, démontrent notamment que les carburants pour moteurs d'avions à turbine/réaction sont composés le plus souvent d'un 20 mélange de 150, ou plus, produits de distillation différents, la composition du mélange variant non seulement selon l'origine du pétrole brut, de l'addition éventuelle d'hydrocarbures de synthèse, mais d'une raffinerie à l'autre et même d'une livraison à l'autre 25 provenant d'une même raffinerie, plusieurs raffineries pouvant alimenter un même grand aéroport. En fait la composition chimique exacte d'un carburant lorsqu'il est chargé dans une citerne d'aéroport ou dans les réservoirs d'un avion est imprévisible, toujours différente et 30 inconnue. Il n'est évidemment pas envisageable de modéliser une telle complexité ; les ordinateurs les plus puissants n'y suffiraient pas et les délais/coûts seraient prohibitifs.

• Pour les produits dangereux qui risquent de s'enflammer ou d'exploser s'ils sont déversés au contact de l'air.

5 Des accidents majeurs imprévus, impliquant le déversement de produits pétroliers et/ou chimiques, toxiques et/ou polluants dans des lieux ou des zones habités, dans l'atmosphère, dans la mer, les rivières ou sur terre, se produisent malheureusement encore fréquemment.

10 La cause en est le plus souvent une défaillance de l'étanchéité des citernes/réservoirs, souvent due à la corrosion des parois ou à la détérioration de joints ou bien à la rupture structurelle, notamment provoquée par un impact accidentel pour les citernes mobiles, d'une 15 paroi, de canalisations ou de raccordements de remplissage, de vidange ou de transport/transfert de ces produits.

20 S'il n'est pas possible d'éliminer complètement tout risque accidentel d'impact ou de défaillance structurelle d'un réservoir ou de ses raccordements, le dispositif selon l'invention permet, par contre, comme expliqué ci-après, d'améliorer grandement la sécurité de contention de tels produits dangereux et de limiter considérablement les conséquences de l'accident en 25 assurant la rétention du produit dangereux à l'intérieur d'un dispositif, même si le réservoir/citerne est endommagé, retardant et même empêchant son déversement dans le milieu ambiant, supprimant ainsi le risque à la source.

30

### III. Objet de l'invention:

Il a été illustré plus haut que, dans certaines conditions industrielles, il existe un réel danger d'35 auto-inflammation pour toute atmosphère explosive

composée d'un mélange carburant-comburant, même en dehors des limites d'inflammabilité couramment admises. Ce danger est éliminé si le comburant, notamment représenté par l'oxygène atmosphérique, est empêché de 5 venir en contact et/ou d'être mélangé au carburant.

Par ailleurs, il ressort des études d'accidentologie que de nombreux accidents majeurs sont dus à la défaillance structurelle des réservoirs ou citernes contenant le produit dangereux, que ce soit par 10 suite de leur échauffement par les flammes d'un incendie avoisinant, ou par suite d'un impact aboutissant au déversement massif du produit dans le milieu ambiant, initiant des incendies/explosions en cascade ou la formation de nuages à haute température, toxiques et/ou 15 polluants.

L'objet de l'invention est un dispositif qui, en premier lieu, empêche l'inflammation d'un carburant ou autre produit dangereux en excluant la possibilité d'occurrence d'un contact ou d'une atmosphère explosive 20 carburant-comburant, imposant et maintenant une séparation physique entre le carburant contenu et l'air (ou l'oxygène présent dans l'atmosphère) en toutes circonstances ; le dispositif assure, d'autre part, une 25 succession de niveaux de protection du produit dangereux permettant d'éviter en cas d'accident son déversement massif dans le milieu ambiant.

• Pour supprimer à la source les risques entraînés par le danger indiqué précédemment la première 30 mesure consiste à :

1. - contrôler la stabilité du produit,
2. - éviter tout contact ou mélange du produit avec l'air ou l'oxygène ambiant,
3. - si le mal a déjà été fait, les séparer et 35 stabiliser le produit le plus vite possible,

4. - si la séparation/neutralisation du mélange s'avère impossible à réaliser dans les délais disponibles et conditions imparties, prendre les mesures nécessaires pour neutraliser le mélange, notamment en le brûlant dans des conditions contrôlées, sans risque.

• Pour éviter qu'un incendie ou une déflagration, se produisant dans l'environnement immédiat d'un stockage de produit dangereux, toxique, polluant, inflammable ou explosif au contact de l'air, n'entraîne systématiquement ou trop rapidement le déversement massif du produit stocké ou l'entrée d'air susceptible d'entraîner son inflammation, sa déflagration ou son explosion, le Dispositif est conçu de telle sorte qu'il assure un cumul de niveaux de protection du produit contre les agressions mécaniques, chimiques et thermiques de l'environnement, notamment en cas de rupture de la structure ou des raccordements du réservoir initialement prévu pour le contenir, et à l'intérieur duquel le dispositif est installé.

De façon plus détaillée, le Dispositif décrit, visant à prévenir le risque d'incendie, de déflagration et d'explosion d'un carburant lors de son stockage, son transport, sa manutention, à pression et températures sensiblement atmosphériques, consiste à réduire/supprimer la dangerosité du carburant en éliminant tout d'abord la présence, puis en évitant la formation, de produits oxydants au contact du carburant, notamment en empêchant toute entrée dans le dispositif de l'oxygène de l'air, évitant ainsi la création d'une atmosphère explosive. Le dispositif décrit ci-après permet d'effectuer des contrôles en continu de la stabilité du carburant tout au long de son parcours, de détecter toute anomalie, de mesurer les températures et leur évolution dans le temps, 35 d'évacuer les impuretés, notamment oxydantes, qu'il

contient. Ainsi le dispositif donne les moyens de s'assurer à la réception que le carburant/produit dangereux est « stabilisé », et peut commander les moyens nécessaires pour le nettoyer et le refroidir en tant que 5 de besoin, puis le conserver à l'abri de l'air et de tout autre comburant, à une température suffisamment basse, prescrite par l'opérateur, pour assurer la marge de sécurité prescrite, ainsi que pour en effectuer le suivi jusqu'à son utilisation finale, notamment en combustion 10 contrôlée s'il s'agit d'un carburant.

La conception du dispositif résulte aussi de la constatation que, si la combustion d'un carburant est, par définition, impossible en l'absence d'oxygène, par contre, la soudaine mise en contact d'un carburant avec 15 l'air ambiant, surtout si le carburant est à température élevée, peut donner lieu à l'inflammation/explosion soudaine de ses vapeurs, soit spontanée, soit provoquée par la présence, à cet endroit, d'une étincelle éventuellement microscopique, d'un catalyseur ou d'un 20 point chaud, donnant lieu alors à un départ de feu entraînant une libération quasi-instantanée de chaleur, de rayonnement thermique et de volumes considérables de gaz brûlés ou imbrûlés, inflammables, explosifs, toxiques et/ou polluants, pouvant provoquer une déflagration, un 25 nuage de feu et de fumées et même une série d'explosions si la géométrie du site s'y prête.

Le seul moyen de supprimer à la source les risques d'incendie/explosion que présentent le stockage, le 30 transport, la manutention des carburants est d'empêcher leur oxydation. Le dispositif a donc pour but d'éviter ou d'empêcher tout contact/mélange avec l'oxygène de l'air, même lorsque ce dernier est fortement dilué par un gaz inerte. Le dispositif décrit ci-après comporte un certain nombre d'éléments associés, adaptés à chaque utilisation 35 industrielle envisagée.

Ces éléments sont, de manière non-limitative :

- une enveloppe, déformable ou non, étanche, imperméable au carburant, à ses vapeurs et sous-produits de décomposition/réaction ainsi qu'à l'air et autres oxydants éventuels, vide ou remplie de gaz inerte, dans laquelle est introduit le carburant après qu'il ait été nettoyé de ses impuretés dangereuses, stabilisé notamment avec des anti-oxydants pour les stockages de longue durée, refroidi si nécessaire et gardé à une température suffisamment basse prescrite par l'opérateur, par les éléments associés du dispositif. Le dispositif permet ensuite de prévenir tout contact entre le carburant et l'air. On prévoit, de plus, la possibilité de mettre en oeuvre en continu des moyens systémiques de détection, de mesure, d'alarme, de suivi, de purge sélective, de neutralisation, de refroidissement du carburant, de pompage, de stockage sécurisé et d'évacuation des vapeurs ou gaz indésirables, oxydants en particulier, potentiellement dangereux.

Le dispositif assure aussi plusieurs niveaux de protection physique, chimique, mécanique et thermique de l'enveloppe dans laquelle le carburant est chargé et contenu, pour empêcher/retarder toute fuite/déversement ou échauffement du carburant ou produit réactif dangereux, même en cas d'accident imprévu.

Ainsi, l'invention concerne, de façon générale, un dispositif de sécurisation/contention de produit dangereux et/ou potentiellement réactif lors de son stockage, son transport, sa manutention dans un environnement de dimensions industrielles à pression et température sensiblement atmosphériques, ce produit étant contenu dans un réservoir, qui est caractérisé en ce qu'il est agencé pour conserver le produit à l'abri de tout contact avec l'oxygène atmosphérique même en cas de rupture structurelle du réservoir.

Selon une revendication, au moins un des éléments contenant le produit est constitué d'une enveloppe étanche, déformable ou non, contenant le produit.

Dans ce cas, l'enveloppe peut être elle-même 5 enclose complètement par au moins un coussin gonflable étanche de type « airbag ». Le gonflement d'au moins un organe de type « airbag », lors de son activation, est par exemple assuré au moyen d'un gaz inerte et incombustible, tel que l'azote ou l'argon pour les 10 carburants, non-réactif notamment vis-à-vis du produit stocké et de ses produits de décomposition.

Selon une réalisation, le dispositif comporte des moyens pour contrôler la stabilité et/ou la réactivité initiale du produit, assurer le suivi continu de son 15 niveau de dangerosité, notamment sa composition, son âge, sa vitesse de vieillissement et les paramètres, tels que sa température et la concentration des réactifs les plus significatifs, pour mettre en œuvre, manuellement ou automatiquement, à partir de valeurs prédéterminées, des 20 moyens d'alarme et d'intervention, ces moyens d'intervention permettant notamment de corriger, en tant que de besoin, les paramètres physiques ou chimiques nécessaires pour éviter un emballement réactif incontrôlable.

25 Selon une réalisation, le(s) produit(s) réactif(s) et/ou dangereux comprend(nent) au moins un produit choisi dans le groupe comportant : les carburants, les produits chimiques présentant un danger d'incendie/explosion spontané(e) au contact de l'air ambiant, ainsi que les 30 produits toxiques et/ou polluants vis-à-vis du milieu ambiant.

Selon une réalisation, le dispositif comporte des moyens pour retarder ou empêcher le déversement du produit à l'air libre, notamment en cas d'impact 35 accidentel ou d'exposition imprévue à la chaleur d'un

incendie environnant.

Selon une réalisation, le dispositif comporte des éléments successifs qui entourent une enveloppe contenant le produit, dont les parois apportent chacune au produit 5 dangereux contenu un degré de protection chimique, physique, thermique et/ou mécanique supplémentaire par rapport à l'enveloppe.

Selon une réalisation, le dispositif comprend au moins un détecteur et/ou un capteur, et/ou un détecteur 10 faisant partie d'un microordinateur, visant à transmettre des données à une unité centrale ou à un centre de contrôle, notamment par liaison sans fil et/ou par fibres optiques.

Le dispositif peut comprendre des moyens 15 d'intervention aptes à être mis en œuvre en fonction des données transmises par des détecteurs ou capteurs, et/ou des capteurs faisant partie d'un microordinateur, pour parer aux risques encourus.

Dans une réalisation, le dispositif comprend au 20 moins une membrane perméable sélective de sorption ou dissolution ou diffusion permettant d'extraire les vapeurs et gaz potentiellement dangereux contenus dans au moins un élément du dispositif.

Selon une réalisation, le dispositif comprend au 25 moins une membrane perméable sélective permettant d'injecter un inhibiteur/stabilisateur dans le produit ou dans ses vapeurs, ou un gaz inerte destiné à la purge et/ou ventilation des espaces libres du réservoir, et des autres éléments, notamment de stockage, de ce dispositif.

Selon une réalisation, le dispositif comprend des 30 moyens de génération et d'injection dans le réservoir, autour d'une enveloppe contenant le produit et/ou autour d'au moins un coussin gonflable de type « airbag » ou d'un autre élément, de mousse à effet retardant, auto-solidifiante ou non, incombustible et inerte vis-à-vis du

produit stocké, destinée à contribuer à l'étanchéité et à la protection de l'enveloppe, en protégeant le produit physiquement et thermiquement des parois et du milieu ambiant.

5        Dans une réalisation, le dispositif comporte au moins une vanne de sécurité contrôlant l'entrée et/ou la sortie de produit d'un élément du dispositif ou l'entrée d'air ambiant en cas d'avarie du circuit de distribution ou de rupture de son raccordement avec l'extérieur,  
10        notamment à la suite d'un impact.

15        Selon une réalisation, le dispositif comprend un élément doté d'au moins un mécanisme situé à une entrée et/ou à une sortie d'une enveloppe contenant le produit stocké de façon à fermer par scellement les orifices de l'enveloppe ainsi que ceux du coussin gonflable de type « airbag » qui l'enclot, tout en les désolidarisant des parois du réservoir.

20        Le dispositif peut comprendre au moins un moyen de récupération des gaz, produits réactifs et/ou toxiques, vapeurs inflammables à caractère dangereux, toxique et/ou polluant, extraits d'un élément du dispositif, notamment de l'enveloppe, en vue de leur stockage temporaire sécurisé, leur condensation, recyclage ou neutralisation, s'il y a risque d'auto-inflammation ou  
25        explosion ou d'échappement accidentel dans le milieu ambiant.

30        Quand le dispositif comprend une enveloppe, dans un exemple, cette enveloppe, dans laquelle est contenu le produit dangereux, est un élément qui présente au moins une des caractéristiques sélectionnées dans le groupe comprenant :

35        - une étanchéité et une inertie chimique notamment vis-à-vis du produit stocké, de ses vapeurs et de ses sous-produits d'auto-réaction, de décomposition et/ou de dégradation, des impuretés chimiques ou biologiques qui

pourraient y être incluses, de l'air ou d'un autre réactif ambiant, l'enveloppe comprenant de préférence à cet effet une ou plusieurs couches de matériaux étanches différents,

5 - une résistance mécanique, en cas d'impact, à la perforation et/ou à la déchirure, par exemple en étant composée de deux ou plusieurs couches de matériaux dans lesquelles sont éventuellement incorporées des mailles ou des fibres de « nylon », de verre, de carbone, de 10 « Kevlar », métalliques et/ou synthétiques, tissées ou non,

- une tolérance à des températures variant de moins 50 degrés Celsius à plus 900 degrés Celsius, de préférence de moins 50 à plus 150 degrés Celsius, et

15 - une faible sensibilité au rayonnement solaire, notamment dans le cas où l'enveloppe est amenée à y être exposée pendant de longues durées, par exemple lorsqu'elle contient un produit stocké en vrac.

Dans ce cas, le dispositif comprend, selon une 20 réalisation, des micro et/ou nano capteurs de détection de l'état et des caractéristiques de l'enveloppe, notamment de type autonome sans fil ou reliés, par exemple par fibre(s) optique(s) à un centre de contrôle, de surveillance et d'activation de moyens d'intervention 25 du dispositif.

Selon une réalisation, l'enveloppe présente au moins un point haut afin que des bulles, des vapeurs ou des gaz présents dans le produit stocké tendent à s'accumuler dans ce point haut.

30 Dans une réalisation, le dispositif comprend des moyens pour évacuer les gaz et/ou les vapeurs accumulés, notamment dans un point haut d'une enveloppe, par exemple pour les récupérer, les diriger vers un stockage sécurisé, les stabiliser, les neutraliser ou les brûler 35 de manière contrôlée, par exemple dans un moteur ou une

torchère, ou pour les réinjecter dans le produit ou dans un circuit de distribution.

Selon une réalisation, le dispositif comporte des moyens pour effectuer au moins une des opérations 5 suivantes :

- effectuer le suivi de la température du produit et la comparer à au moins une valeur fixée par l'opérateur,
- refroidir le produit au niveau prescrit pour 10 assurer la marge de sécurité imposée par rapport au risque ambiant d'un apport d'énergie accidentel dépassant la valeur requise pour son auto-inflammation/explosion,
- contrôler la stabilité du produit,
- détecter la présence de vapeurs dangereuses, 15 notamment inflammables et/ou explosives, dans les éléments du dispositif à l'extérieur d'une enveloppe contenant le produit, et en évaluer le danger en fonction de leur température et de leur concentration et de celles de l'oxygène et/ou autres réactifs,
- comparer des valeurs mesurées à des valeurs prédéterminées afin d'ouvrir ou de fermer au moins une soupape ou une vanne et/ou d'activer notamment des moyens de remplissage/vidange, de gonflement, de purge, de ventilation, d'injection de produits neutralisants, de 20 refroidissement, et de récupération.

Selon une réalisation, le dispositif comprend des moyens pour effectuer au moins l'une des opérations suivantes :

- détecter un impact,
- déceler une fuite du produit contenu dans une enveloppe,
- déceler et mesurer une élévation de la température du produit, et/ou des parois du réservoir et de celles d'un (des) autre(s) élément(s) du dispositif,
- effectuer le suivi de la durée de stockage du 35

produit et la comparer avec une durée limite éventuellement prescrite par le fournisseur,

- évaluer son degré et/ou sa vitesse de vieillissement.

5        Dans une réalisation, le dispositif comprend au moins un capteur tel que des fibres piézoélectriques incorporées dans la paroi d'un organe de type « airbag », et des moyens tels qu'une vanne, pour empêcher que l'organe de type « airbag » ne se gonfle à une pression 10 trop élevée par rapport aux spécifications des structures du réservoir, et l'empêche ensuite de se dégonfler après avoir atteint le volume désiré pour assurer la protection optimale d'une enveloppe contenant le produit et du produit stocké.

15       L'invention concerne aussi l'application du dispositif du type défini ci-dessus à un véhicule terrestre, spatial, maritime ou fluvial.

Elle concerne également l'application du dispositif au stockage, au transport, à la manutention de produit en 20 vrac, emballé ou non, et/ou dans un espace ou réservoir confiné.

25       L'invention concerne également l'application du dispositif au stockage, au transport, à la manutention d'un produit qui se présente sous forme de gaz, de liquide, notamment de vapeurs, de brouillard, de gouttelettes, ou de solides, par exemple sous forme de particules, de grains, de granulés, de poudre, de poussière, de farine, de copeaux, de fibres, de feuilles ou de matériau poreux.

30

• **Exemples de réalisation du Dispositif**

Des réalisations du Dispositif sont illustrées et décrites ci-après à titre représentatif et non limitatif 35 à l'aide des figures jointes sur lesquelles :

les **Figures 1a, 1b, 1c, 1d et 1e** représentent un premier mode de réalisation du dispositif et son utilisation pour des moyens mobiles (transports routiers, ferroviaires ou maritimes) de stockage et de transport de 5 petits et moyens volumes de carburants ou produits susceptibles de s'enflammer ou d'exploser au contact de l'air (25-500 litres) tels que des réservoirs de voitures, camions, locomotives ou bateaux de pêche ou de 10 plaisance. Dans cet exemple, les réservoirs destinés à contenir des produits dangereux/carburants sont de préférence construits avec une double coque permettant d'assurer une bonne isolation thermique et une meilleure 15 protection mécanique en cas d'impact. Cette double coque offre aussi un premier niveau de sécurité pour éviter le déversement du produit dans le milieu ambiant.

Les **Figures 2a et 2b** représentent un second mode de réalisation du dispositif et son utilisation, d'une part, pour sécuriser des moyens mobiles de transport par route ou par rail de grande capacité (plus de 500 litres), 20 tels que remorques de camion citerne ou wagons citernes ferroviaires (**fig. 2a**) et d'autre part (**fig. 2b**), pour équiper des aéronefs gros porteurs dangereux, en service actuellement dans de nombreuses compagnies et forces armées aériennes.

25 La **Figure 3** représente des éléments du dispositif conforme à l'invention pour la livraison de carburant à une citerne enterrée et son transfert pour l'avitaillement d'un aéronef via un véhicule de transport.

30 La **Figure 4** représente un détail d'une réalisation d'une partie du dispositif lié à une enveloppe conforme à l'invention.

35 La **figure 5** est un schéma fonctionnel d'un multiprocesseur/centre de contrôle, dénommé « Boîte Rouge », recueillant et analysant les données émanant des

éléments du dispositif et commandant la mise en œuvre des différents moyens d'alarme et de sécurisation pouvant y être, sans caractère limitatif, incorporés.

5 Description d'une première réalisation du Dispositif

Les **Figures 1a, 1b, 1c, 1d et 1e** illustrent certains éléments d'une première réalisation du dispositif formant une structure de stockage constituée 10 d'un réservoir à carburant 100 de capacité moyenne (25-500 litres), destiné par exemple à alimenter un véhicule à moteur.

• la **Figure 1a** représente le réservoir 100 et son enveloppe à carburant 104 vide. Dans une autre version, 15 non représentée, l'enveloppe 104, lors de la vidange précédente du carburant, a été remplie pour garder sa forme, par exemple en totalité ou en partie, par injection à partir d'un stockage temporaire non représenté, avec un gaz inerte ou mélange de gaz incombustible et non-soluble dans le carburant, ou par un liquide incombustible non-miscible avec le carburant. 20 Dans ce cas, ces gaz ou ce liquide réintègrent, par des moyens de pompage notamment, l'élément de stockage temporaire, au fur et à mesure du remplissage de 25 l'enveloppe avec le carburant.

• la **Figure 1b** illustre l'enveloppe à moitié pleine de carburant.

• la **Figure 1c** une coupe transversale, selon la ligne AA du réservoir vide.

30 • la **Figure 1d** représente le réservoir à la suite d'un impact ou d'un échauffement important des parois du réservoir, résultant par exemple d'un incendie aux abords immédiats de celui-ci, qui a provoqué le gonflement d'un coussin gonflable de type « airbag ». Dans ce qui suit, 35 ce coussin gonflable sera dénommé simplement « airbag »).

Cet airbag pourra d'ailleurs, dans certaines réalisations, ne pas être constitué d'une enveloppe gonflable indépendante usuelle, mais d'un simple sac déformable entourant la paroi extérieure de l'enveloppe à 5 carburant/produit stocké, les gaz de gonflement de cet airbag étant alors injectés entre la paroi extérieure de l'enveloppe et la paroi unique de l'airbag. La figure 1d représente aussi le remplissage de l'espace vide qui sépare la paroi intérieure du réservoir du berceau de 10 soutien 108 de l'enveloppe 104 (et de l'airbag 110 qui l'enclot) par de la mousse inerte, ininflammable et isolante, se solidifiant éventuellement au contact de l'air ou à une température prescrite. Cette mousse est générée par des moyens non représentés, dont la mise en 15 oeuvre par le dispositif est programmée selon une séquence prescrite avec celle du gonflement de l'airbag en cas d'impact ou d'échauffement des parois du réservoir.

• la **Figure 1e** représente à titre d'exemple, 20 avant gonflage de l'airbag 110, comment celui-ci pourrait être pré-plié transversalement, comme un accordéon, alors que l'enveloppe 104 contenant le carburant serait pré-pliée longitudinalement, comme une gueule de baleine, ceci pour permettre une meilleure souplesse et réduire le 25 frottement lors des déformations de l'enveloppe au cours de son remplissage ou de sa vidange et pour assurer la circulation rapide du gaz au moment du gonflement de l'airbag. Dans les cas où l'enveloppe s'aplatit lors de la vidange du produit il faut prévoir une petite 30 alimentation/vidange progressive de gaz inerte à l'intérieur de l'airbag, à partir d'un stockage temporaire, au fur et à mesure que sa taille augmentera ou diminuera lorsque du carburant sera chargé ou évacué de l'enveloppe ; ceci n'est évidemment pas nécessaire si 35 l'enveloppe est rigide ou semi-rigide.

Cette réalisation du dispositif de l'invention s'applique par exemple pour des éléments de stockage de carburant préalablement stabilisé, équipant tous types de véhicules terrestres, tels que des autocars ou des camions, des locomotives diesel ainsi que des bateaux de pêche ou de plaisance.

Cependant, des réalisations du dispositif conforme à l'invention (non représentées) peuvent être adaptées à tous modes de stockage, de transport ou de manutention tels que des citernes/réservoirs fixes ou bien transportés selon tous types de moyens de transfert tels que des oléoducs et gazoducs, des galeries de bandes transporteuses, des puits d'élévateurs à godets, des transport routiers, ferroviaires, fluviaux, maritimes, aériens ou spatiaux, sans restriction.

Sur les figures 1a à 1e, les chiffres de référence ont les significations suivantes :

- 100 et 102 : réservoir : sa structure est à double coque résistante aux chocs et isolante thermiquement, en fibre de verre-résine incombustible, matériaux composites, coque métallique ou plastique, formes arrondies, raccords protégés

- 104 : enveloppe déformable de confinement contenant le carburant ou le produit dangereux.

- 105 : « Point Haut » de l'enveloppe, équipé d'une « Bulle » 128 (voir détail Figure 4), facultative pour les petites et moyennes contenances.

- 106 : carburant ou autre produit dangereux stocké dans le dispositif.

- 107 : orifices d'entrée et de sortie du produit dans le dispositif.

- 108 : berceau de soutien et de retenue de la paroi de l'enveloppe et de l'airbag.

35 - 110 : airbag.

- 114 : espace libre à l'intérieur du réservoir, pouvant être rempli de gaz ou de liquide inerte/non-réactif à partir d'un stockage temporaire (non représenté).

5 - 116 : moyens tels que des vannes, d'ouverture ou de fermeture des orifices du réservoir et de remplissage/vidange de l'enveloppe.

10 - 117 : moyens tels que des vannes, d'ouverture ou de fermeture de l'espace libre 114 du réservoir pour injection ou extraction de gaz ou de liquide inerte à partir de, ou vers, un stockage temporaire (notamment en cas d'évacuation d'urgence de l'espace libre lors du gonflement de l'airbag). Si la présence d'une atmosphère dangereuse est détectée, son évacuation s'effectue aussi 15 vers un stockage temporaire.

20 - 118 : moyens, tels que des vannes, de fermeture simultanée de l'airbag et de l'enveloppe, matérialisant la séparation de l'enveloppe d'avec la paroi du réservoir en cas d'accident (séparation par boulons sécables par exemple).

25 - 120 : soupape d'équilibrage de pression permettant l'entrée ou la sortie mesurée de gaz/liquide inerte, non-réactif pour remplir (à partir d'un stockage temporaire non représenté) ou évacuer l'espace libre du réservoir au fur et à mesure du remplissage ou de la vidange de l'enveloppe.

- 124 : capot de maintenance.

- 126 : dévésiculeur de trop-plein.

- 128 : « Bulle ».

30 - 130 : gaz inerte/non réactif de gonflage de l'airbag.

- 132 : moyens de gonflage de l'airbag.

35 - 134 : moyens de génération et d'injection de mousse incombustible, et éventuellement auto-durcissante, à effet retardant pour empêcher l'échauffement du produit

en évitant tout contact de la paroi de l'airbag et/ou de l'enveloppe avec les parois du réservoir.

- 136 : mousse ininflammable d'isolation thermique.

5 On n'a pas représenté certains éléments du dispositif, notamment :

- Des moyens d'analyse, de nettoyage, de pompage, de filtration, de lavage à l'azote pour débarrasser le carburant des impuretés oxydantes, notamment de l'oxygène 10 dissous, de stabilisation, d'injection et d'évacuation, notamment au travers de membranes sélectives, composées par exemple de polymères perméables tels que le « nylon » ou le caoutchouc de silicium, de métal, ou de tous autres matériaux filtrants, en couches simple ou multiples.

15 - Des moyens de production et de stockage de gaz (ou de liquide) inerte.

- Des moyens d'injection de gaz/liquide inerte dans les espaces libres de tous les éléments du dispositif.

20 - Des moyens d'injection d'anti-oxydants ou autres additifs stabilisants.

- Des moyens de mise sous pression et/ou d'activation de certaines membranes.

25 - Des moyens de ventilation/purge de l'espace libre du réservoir pour en évacuer toute présence d'air (oxygène) et le remplacer par un gaz, des vapeurs ou un liquide inerte.

30 - Des moyens de gonflement du (des) airbag(s) avec des gaz/vapeurs inertes, notamment du dioxyde de carbone, de l'azote, de l'argon, de l'hélium ou des gaz d'échappement de moteur refroidis, à partir d'éléments de stockage temporaire du Dispositif.

35 - Des moyens d'arrêt du gonflage de l'airbag (arrêt automatique éventuellement commandé sur ordre de fibres piézo-électriques (non représentées) incorporées

dans sa paroi et moyens/vanne de fermeture de l'airbag après son gonflement à la pression prescrite.

- Des moyens d'analyse du vieillissement et de la dangerosité du carburant, notamment de son contenu en peroxydes, et de sa vitesse de dégradation/décomposition s'il est encore réactif.

- Des moyens déclencheurs d'alarme(s).

- Des moyens de nettoyage/purge et d'évacuation de l'oxygène présent dans l'enveloppe, facultatifs si le carburant a été correctement stabilisé et contrôlé avant d'être introduit dans l'enveloppe du réservoir initial.

- Des moyens de détection de la présence d'une atmosphère explosive dans l'espace libre du réservoir et estimation de sa dangerosité pour commander notamment, en conséquence, les moyens d'alarme et/ou de ventilation/purge et/ou injection de gaz/liquide inerte/non-réactif ou de produit neutralisant à partir des éléments de stockage temporaire.

- Des moyens de récupération, par sorption, dissolution, filtration ou condensation des vapeurs de carburant ou de produit dangereux pour les diriger, notamment par pompage, vers un élément de stockage temporaire.

- Des moyens d'arrêt de flamme notamment dans les orifices et les circuits de distribution de carburant ainsi que de purge des gaz et vapeurs du Dispositif.

- Des moyens de refroidissement du carburant et/ou de ses vapeurs contenu(e)s dans l'enveloppe et dans les autres éléments et circuits de distribution du Dispositif.

- Des moyens de production/génération/stockage temporaire de gaz/liquides inertes pour injection dans l'enveloppe et/ou les espaces libres du Dispositif et du réservoir.

- Des moyens de pompage d'alimentation et/ou de vidange (avec un puisard non représenté) et de distribution de carburant à l'intérieur du dispositif, et de commande d'arrêt automatique et/ou manuelle du système.
  - 5 - Un puisard de purge de l'enveloppe, au cas où la vanne inférieure 116 d'alimentation/vidange ne permettrait pas une purge complète.
  - un (des) capteur(s) de température, notamment de la paroi du réservoir (pour déclencher, par exemple, le gonflement de l'airbag et autres mesures d'urgence en cas d'incendie environnant), de son espace libre, du carburant à sa livraison, lors de son stockage à l'intérieur de l'enveloppe, et à tous autres endroits du dispositif où la température doit être connue.
    - 10 - Un (des) capteur(s) de pression du carburant à l'intérieur de l'enveloppe, notamment pour arrêter son remplissage lorsqu'on fait le plein, pour détecter une fuite accidentelle et déclencher les moyens de sécurisation tels que le gonflement de l'airbag, la génération de mousse incombustible isolante, l'activation des moyens de fermeture ou d'ouverture appropriés du réservoir et de l'enveloppe, l'arrêt des pompes du circuit de distribution de carburant et toutes autres mesures prescrites par l'opérateur du dispositif.
      - 20 - Un (des) détecteur(s) d'oxygène, de peroxydes et autres oxydants, présents dans l'enveloppe et dans les autres éléments du dispositif.
      - Les émetteurs/récepteurs, notamment sans fil ou par fibres optiques, réseaux de Bragg, des données vers, ou provenant de, la « Boîte Rouge ».
      - Un accéléromètre tri-axial pour déclencher, en cas d'impact, les moyens de sécurisation appropriés.

Détails complémentaires sur les éléments relevant des Figures 1 à 1e

Comme il a été indiqué précédemment, le dispositif permet d'appliquer une politique d'« effluent-zéro » en 5 ce qu'il empêche toute émission/déversement de produits dangereux, combustibles, toxiques et/ou polluants, sous forme de gaz, de vapeurs ou de liquides, dans le milieu ambiant ; pour cela, il faut prévoir, entre autres moyens, un ou plusieurs éléments, notamment 10 dévésiculeurs/éponges de trop-plein pour empêcher tout déversement accidentel de produit. Des éléments spécifiques récupèrent le carburant/produit et les gaz/vapeurs dangereux excédentaires en circuit fermé et 15 les stockent temporairement pour être éventuellement réinjectés plus tard dans la ou les enveloppes à carburant, ou bien directement dans le système d'alimentation du(des moteur(s), ou encore stockés dans des conditions de sécurité pour recyclage/récupération jusqu'à la prochaine opération de maintenance.

20 Etant donné qu'un des buts principaux du dispositif est d'empêcher toute oxydation du produit par contact et/ou mélange entre le carburant et l'air, notamment tous les raccords, embouts, robinets, pompes, vannes et soupapes du dispositif, même non représentés, doivent 25 être conçus et fonctionner de manière étanche. Il faut, de même, empêcher toute fuite/déversement de carburant ou de produit dangereux qui pourrait alors se retrouver au contact de l'air.

Par ailleurs, pour réduire le risque de formation 30 d'atmosphères explosives composées de grands volumes de vapeurs de carburant et d'air, il faut rappeler que le carburant peut notamment être stocké, transporté et manutentionné sous forme gélifiée. Cette disposition est valable aussi bien pour les réservoirs de petite capacité 35 que pour les citernes et réservoirs de grande capacité.

En résumé, les objectifs primordiaux du dispositif sont :

1. Eviter tout contact ou mélange de l'air avec le carburant ou avec ses vapeurs, que ce soit lors d'un stockage, d'un transport ou d'une manutention usuels, qui aboutirait à la formation d'une atmosphère explosive à l'intérieur du dispositif.
2. Déceler l'introduction accidentelle d'air (oxygène) dans le Dispositif, déclenchant l'alarme et la mise en œuvre des moyens automatiques de sécurisation, permettant à l'opérateur de régler le problème.
3. Eviter que la température du produit/carburant ne s'élève à aucun moment jusqu'à un niveau atteignant, et même dépassant, le point d'éclair et le point de feu, pour lesquels sa mise en contact (ou celle de ses vapeurs) accidentelle avec l'air ambiant, aboutirait à une inflammation/explosion quasi-instantanée ; ces conditions de danger extrême correspondent à des températures (souvent quasi-ambiantes et courantes en milieu industriel) pour lesquelles l'énergie minimale d'inflammation et la période d'induction avant inflammation spontanée de l'atmosphère explosive approchent zéro ; les fuites de produit de ce genre peuvent avoir lieu lors du chargement ou de la vidange du dispositif.
4. Eviter tout déversement accidentel de produit stocké dans le milieu ambiant par suite d'un accident provoquant un impact direct ou d'un incendie environnant le dispositif.
- La conception du dispositif permet d'éviter le danger et/ou d'assurer la sécurité dès que le produit se trouve à l'intérieur. Il est apparent cependant que des facteurs extérieurs tels que les valeurs prescrites des paramètres de qualité et d'état du produit, les procédures et matériels de raccordement du dispositif aux

circuits extérieurs, lors de la livraison et du déchargement, doivent être conformes à des normes plus sévères que celles qui sont appliquées aujourd'hui si l'on veut minimiser les risques.

5 De même, en cas d'impact accidentel d'un réservoir mobile 100, sa structure, aux formes arrondies par exemple, métallique ou fabriquée de matériaux plastiques incombustibles épais, doit être conçue pour résister aux impacts et au feu, notamment pour résister à l'exposition  
10 du réservoir à un nuage enflammé ou à des gaz/vapeurs/fumées à très haute température et à leur rayonnement thermique dans son voisinage immédiat. La structure utilisant, par exemple, le principe d'une double coque, l'espace 102 entre les deux coques étant  
15 rempli d'un isolant thermique résistant au feu, notamment ceux chargés en silice tels que développés par la NASA, de manière à pouvoir subir l'exposition à des température de 1000-1500 degrés Celsius, ou plus, pendant plusieurs heures, et à éviter le plus longtemps possible au produit  
20 qui se trouve contenu dans son enveloppe à l'intérieur du dispositif une montée en température importante, donnant ainsi le temps d'intervenir aux services ou équipements de lutte contre l'incendie.

Il convient de noter que le réservoir 100 doit être  
25 équipé d'une ou plusieurs vannes 117 et soupapes 120 permettant au gaz inerte présent dans l'espace vide du réservoir de s'évacuer vers un élément de stockage temporaire du dispositif au fur et à mesure que l'enveloppe 104 est remplie de carburant. Ces mêmes  
30 vannes/soupapes pourront être utilisées par ailleurs pour réinjecter du gaz inerte pour remplir l'espace libéré au fur et à mesure que du carburant sera extrait de l'enveloppe.

De tels éléments permettent aussi l'évacuation du  
35 réservoir 100 vers un stockage temporaire de gaz/vapeurs

lorsque les détecteurs/capteurs du dispositif identifient une atmosphère 114 dangereuse, c'est-à-dire présentant un risque d'inflammation/explosion en raison de sa composition et de sa température. En effet, des vapeurs de carburant peuvent accidentellement s'accumuler dans l'espace libre 114 lorsque, par exemple, du carburant s'échappe accidentellement de l'enveloppe 104, endommagée ou bien mal raccordée aux moyens 116-118 d'admission et/ou de vidange de carburant.

Un clapet/évent, non représenté, peut si nécessaire, selon la géométrie du réservoir, être installé pour aider à l'évacuation rapide vers un stockage temporaire du gaz inerte qui remplit l'espace libre du réservoir en cas de gonflement de l'airbag 110.

Si les générateurs de mousse à effet retardant sont déclenchés, selon la temporisation fixée par rapport au gonflement de l'airbag, le clapet/évent qui aura servi à évacuer le gaz inerte et/ou les vapeurs dangereuses remplissant l'espace libre du réservoir, sera fermé automatiquement au moment prescrit pour empêcher la sortie de la mousse.

L'enveloppe 104 est située à l'intérieur du réservoir 100 afin de contenir le carburant 106, et d'empêcher le carburant chargé dans cette enveloppe, d'être mis en contact ou mélangé à l'air ambiant. Dans ce but, l'espace libre 114, qui occupe l'intérieur du réservoir à l'extérieur de l'enveloppe est en permanence rempli d'un gaz inerte tel que l'azote ou le gaz carbonique, ou encore par des gaz brûlés d'échappement du moteur (dûment refroidis), non-réactifs avec le produit stocké ou ses vapeurs ou produits d'auto-oxydation ou de décomposition, et bien sûr vis-à-vis du matériau de l'enveloppe 104.

Pour réaliser correctement sa fonction, l'enveloppe 104 est imperméable et chimiquement inerte vis-à-vis du

carburant, ainsi que vis-à-vis de l'air, de l'oxygène ou autres oxydants ou produits corrosifs présents dans l'atmosphère 114 à l'extérieur de l'enveloppe, dans l'espace libre du réservoir.

5 Pour cela, différents types ou combinaisons de matériaux, synthétiques ou naturels, peuvent être réalisés pour la fabrication de l'enveloppe 104. Selon un exemple, un film de polyéthylène épais est particulièrement adapté pour la réalisation de  
10 l'invention dans le stockage en vrac de carburants solides tels que des farines, poudres et/ou granulés, notamment de charbon actif. Dans cette réalisation de l'invention, l'enveloppe peut prendre la forme d'une couverture souple et déformable, hermétiquement fixée aux  
15 parois de l'espace confiné ou semi-confiné, ou au sol dans le cas d'un stockage en vrac sans parois latérales, qui recouvre complètement le carburant pour empêcher toute entrée d'air vers l'intérieur du stockage de carburant.

20 D'autres matériaux composés notamment de nitrile, de néoprène, d'uréthane, d'élastomères et/ou de plastomères, en couche simple ou sous la forme de matériaux multicouches sont utilisés en fonction de la nature du produit stocké et de la résistance mécanique,  
25 chimique ou thermique attendue de l'enveloppe.

30 Selon une seconde caractéristique, l'enveloppe 104 doit, dans certains cas, être déformable, notamment de par sa structure souple, élastique et/ou pré-pliée, de manière à pouvoir augmenter de volume pour accueillir le carburant 106 lors de son remplissage par les vannes 116-118 jusqu'à la capacité requise du réservoir. Une ou plusieurs soupape(s) 120 permet(tent) au gaz inerte, initialement présent dans l'espace vide 114 du réservoir, de s'échapper du réservoir pour être placé dans un stockage temporaire, ou d'y rentrer pour maintenir cet  
35

espace libre à pression atmosphérique au fur et à mesure de la vidange du carburant présent dans l'enveloppe ou bien de variation de la pression atmosphérique ambiante.

5 L'enveloppe doit pouvoir se vider en s'aplatissant complètement lorsque le carburant est entièrement évacué par l'orifice 112, à moins que l'espace ainsi libéré ne soit rempli de gaz inerte au fur et à mesure à partir d'un stockage temporaire. Dans certains cas, l'injection d'un liquide inerte non-miscible avec le produit stocké 10 peut être envisagé pour remplir l'enveloppe au fur et à mesure du prélèvement ou du remplissage de produit stocké.

15 Selon une troisième caractéristique, pour augmenter la sécurité, l'air initialement présent dans l'espace vide 114 du réservoir est entièrement remplacé par un gaz inerte pur, tel que l'azote, ou le dioxyde de carbone, stocké dans une bouteille ou autre élément de stockage prévu par le dispositif, ou bien à travers une membrane perméable sélective (non représentée) à partir de l'azote 20 atmosphérique, à l'aide de moyens de pompage. Dans ces deux cas, un appareil de mesure, piézoélectrique par exemple, de la pression dans l'espace vide, évite, durant ce pompage, de faire subir une surpression à la structure du réservoir et un instrument de mesure de concentration 25 d'oxygène s'assure que tout l'oxygène de l'air initialement présent dans l'espace libre 114 a bien été évacué. En effet, il est courant par exemple que l'azote, extrait de l'air à travers une membrane, ne soit pas pur, mais contienne quelques impuretés, notamment de 30 l'oxygène. Or il a été démontré qu'une combustion « chaude » peut avoir lieu même lorsque la concentration d'oxygène est inférieure à un pour cent par volume. Il est donc préférable d'utiliser de l'azote produit par des unités de fabrication modernes, la pureté du gaz pouvant 35 alors dépasser 99%. Un détecteur de présence de vapeurs

inflammables et un détecteur d'oxygène (non représentés) sont placés à l'intérieur de l'espace libre 114 pour activer les moyens d'alarme et de sécurisation (non représentés mais décrits ci-dessus et prévus dans le dispositif) et en particulier bloquer la/les soupape(s) 120 et ouvrir la vanne 117 pour évacuer cette atmosphère potentiellement dangereuse de l'espace 114 au cas où les valeurs enregistrées dépasseraient les seuils de danger prédéterminés par l'opérateur.

10 Selon une quatrième caractéristique, l'enveloppe doit, en général, présenter un gabarit spécialement conçu pour le réservoir auquel elle est destinée.

15 Selon une cinquième caractéristique, l'enveloppe doit être légère, particulièrement lorsqu'elle est destinée aux réservoirs d'aéronef.

20 Selon une autre caractéristique, l'enveloppe doit être résistante à la déchirure, par exemple en étant composée de deux ou plusieurs films plastiques, tissés ou non, dans lesquels des fibres de « nylon », de verre, de carbone, métalliques, naturelles et/ou synthétiques, « Kevlar » ou autres, sont incorporées.

25 Selon une autre caractéristique, l'enveloppe est auto-régénératrice de façon à combler toute perforation pouvant être provoquée par exemple par une perforation/déchirure/avarie accidentelle, notamment en cas de contact avec les parois déchirées du réservoir.

30 Selon une autre caractéristique, l'enveloppe est constituée pour partie, par exemple en son point haut, par une éponge ou dévésiculeur 126, constitué(e) par exemple de matériau poreux ou d'un amas fibreux, métallique ou non, destinée à accueillir son trop-plein lors de son remplissage, ou dans le cas où la pression du carburant dépasserait momentanément la pression de l'atmosphère remplissant l'espace libre. Si le liquide déborde, il est évacué vers un stockage temporaire.

Selon une autre caractéristique, la paroi de l'enveloppe est renforcée par des éléments rigides pour améliorer sa résistance aux chocs ou au frottement, ou pour faciliter son remplissage ou sa vidange.

5 Selon une autre caractéristique, la paroi de l'enveloppe est composée, par endroits, d'une membrane perméable sélective destinée à laisser pénétrer une certaine quantité de gaz inerte à l'intérieur ou permettre d'extraire l'oxygène, ou un autre oxydant, vers 10 un stockage extérieur temporaire.

15 Selon une autre caractéristique, l'enveloppe doit être résistante mécaniquement à des tensions ou des contraintes fortes causées accidentellement par un impact ou des vibrations ou secousses violentes lorsqu'elle équipe un réservoir mobile

20 Selon une autre caractéristique, l'enveloppe 104 doit avoir une résistance mécanique capable de supporter la pression hydrostatique qu'exerce le carburant sur elle lorsqu'elle est entièrement remplie.

25 Selon un autre aspect, l'enveloppe 104 doit être résistante à de fortes variations de température, notamment lorsque cette enveloppe est utilisée à bord d'un aéronef auquel cas la température de l'air à l'extérieur du réservoir peut évoluer normalement de moins cinquante degrés Celsius en altitude à plus cinquante degrés Celsius au sol. Elle doit de plus être ininflammable.

30 Il convient de noter que, en fonction de la nature du produit stocké et/ou du matériau (ou des matériaux) formant l'enveloppe, on peut, dans certains cas, superposer une ou plusieurs enveloppes en plusieurs couches ou strates, tissées ou non, pour obtenir la résistance et l'isolation requise. Une telle réalisation peut être requise notamment lorsque le réservoir est de 35 volume important ou lorsque des contraintes structurales

imposent l'utilisation de diverses enveloppes combinées.

Selon une autre caractéristique, l'enveloppe doit être résistante chimiquement pour résister à une éventuelle corrosion ou catalyse. Cette caractéristique 5 est particulièrement importante dans le cas des citernes destinées à contenir certains produits chimiques dangereux.

L'enveloppe 104 du dispositif peut être utilisée pour contenir le carburant/produit toxique/polluant 106 10 et résister à un impact accidentel du véhicule/citerne mobile qui endommagerait le réservoir 100 et aboutirait, en l'absence du dispositif, à un déversement massif de carburant/produit toxique/polluant dans le milieu ambiant.

15 En effet, dans un tel type d'accident, le carburant libéré de l'enveloppe 104 et du réservoir 100 peut être mis en présence d'une structure telle qu'un moteur ou son pot d'échappement, suffisamment chaud pour l'enflammer spontanément au contact de l'air extérieur, ou bien amené 20 au contact d'une étincelle due au frottement d'une pièce métallique ou à un court-circuit électrique provoquant alors l'inflammation de ce carburant et des matériaux combustibles à l'intérieur du véhicule, par exemple les sièges d'un autocar, ainsi qu'une déflagration et/ou une 25 explosion qui peut avoir des conséquences dramatiques pour les personnes concernées par l'accident.

Le berceau 108/207, destiné à isoler l'enveloppe et son contenu, physiquement en cas d'impact, et thermiquement en cas d'échauffement de la paroi du réservoir, peut être remplacé notamment par un jeu 30 d'airbags remplissant les mêmes fonctions. Ainsi, par exemple, dans le cas de la réalisation du dispositif pour un avion gros porteur, décrit plus loin en Figure 2b, le plancher et les parois du réservoir central et des réservoirs d'aile adjacents de l'avion sont « chauffés » 35

par les unités de conditionnement d'air et de pressurisation (APU) de l'avion, situés directement au dessous. L'isolation thermique des enveloppes 210 peut être assurée en complétant le berceau de soutien par des 5 « airbags-plancher » et des « airbags-rideaux » 215, soit par d'autres moyens, notamment en utilisant une dalle de matériau isolant pour le plancher et des plaques isolantes pour les parois.

10 C'est pourquoi, en cas d'impact ou de détection de température dépassant une valeur limite prédéterminée des parois du réservoir, en plus de la protection 104, le gonflement d'un airbag 110, situé dans l'espace libre 114 du réservoir 100, et entourant complètement l'enveloppe 104, est déclenché, notamment par un accéléromètre tri- 15 axial (non représenté) et/ou par les instruments de mesure (non représentés) de la température des parois du réservoir, ou par la détection d'une baisse soudaine de pression du carburant indiquant une fuite de l'enveloppe 104 ou du circuit de distribution, afin de contenir le 20 carburant 106 dans son enveloppe et empêcher tout déversement vers l'extérieur. Le gonflement de l'airbag sera aussi activé automatiquement en cas d'impact accidentel, pour les citernes/réservoirs mobiles.

25 L'airbag 110 doit, bien entendu, être gonflé avec un gaz incombustible et non-réactif, c'est-à-dire inerte vis-à-vis de l'oxygène, mais encore vis-à-vis du carburant, de ses vapeurs et produits d'oxydation ou de décomposition, et le(s) matériau(x) constitutif(s) de l'airbag doi(ven)t être ininflammable(s), permettant 30 ainsi à cette poche de gaz d'agir en tant que rempart de sécurité supplémentaire de protection de l'enveloppe 104 et de réduire d'autant le risque d'incendie à l'intérieur du réservoir si celui-ci et l'enveloppe 106 sont éventrés par l'impact ou entourés de flammes.

35 Pour les situations dans lesquelles il existe un

risque élevé d'impact ou de détection de très hautes températures des parois du réservoir ou de baisse de pression indiquant une fuite dans le système, et lorsqu'un élément du type airbag 110 est présent et 5 activé, le moyen de protection du produit est complété par des moyens de déclenchement programmés par rapport à l'activation automatique des moyens de fermeture 116-118 d'arrivée de carburant et d'évacuation de l'enveloppe, et le cas échéant, de coupure et d'obturation de 10 l'enveloppe, de l'airbag (de manière à éviter la moindre fuite du contenu de l'enveloppe 104 ou des canalisations du système de distribution de carburant), de déclenchement des générateurs de mousse de retard de feu, si le dispositif en comporte. Le dispositif permet, 15 notamment en déclenchant la rupture de boulons sécables, de désolidariser complètement l'enveloppe des contraintes mécaniques et thermiques créées par le raccordement au système de distribution de carburant et par la fixation aux parois du réservoir, dont l'échauffement peut être 20 dangereux et dont le déchirement peut aboutir à l'apparition de pièces structurelles pointues/tranchantes par suite de l'impact. Le dispositif permet ainsi à l'enveloppe de bénéficier de la protection optimale de l'airbag et du gaz inerte qui le remplit. En cas d'impact, 25 la pompe de distribution de carburant du circuit sera évidemment arrêtée automatiquement et/ou manuellement, selon la prescription de l'opérateur.

De façon générale, les gaz présents dans les airbags sont choisis pour leur caractère non-réactif ou 30 même inhibiteur vis-à-vis du carburant et de ses oxydants, et/ou du produit dangereux et/ou toxique et de leurs produits de décomposition, transportés dans le Dispositif qui équipe le réservoir/citerne mobile. Cette particularité est notamment importante dans le cas des 35 transports ferroviaires où des substances nombreuses et

variées sont transférées par wagon-citerne, ainsi que pour les navires pétroliers, où les cuves individuelles contiennent souvent des carburants/produits dangereux très différents.

5

Le processeur central de contrôle (Boîte Rouge) représenté en Figure 5 peut aussi, en l'absence de mousse, dans ces mêmes circonstances, activer notamment des moyens tels qu'un ou plusieurs brumisateurs d'eau ou autres moyens de refroidissement de l'atmosphère de l'espace libre du réservoir, de ses parois, des parois de l'enveloppe et/ou de l'airbag, ou encore de lutte contre un départ de feu.

Selon une autre réalisation, représentée notamment en **Figure 2b**, l'airbag qui enclot le produit est complété par des airbags latéraux, supérieurs et inférieurs, situés dans le réservoir de façon à générer une nacelle gonflable de gaz inerte fournissant un niveau de protection supplémentaire, amortissant les chocs, protégeant et isolant des parois du réservoir l'enveloppe 104 et son élément de type airbag 110, retardant l'échauffement du carburant stocké 106 tout en contribuant à prévenir tout déversement de produit vers l'extérieur.

Selon un autre élément du dispositif, non représenté, une vanne est utilisée pour prévenir que l'airbag, une fois activé, ne se vide après son gonflement optimum, la contention du carburant dans le réservoir étant alors renforcée.

Cette vanne est commandée par un capteur (non représenté), par exemple constitué de fibres piézoélectriques incorporées dans la paroi de l'airbag, visant à mesurer la pression interne de celui-ci. Un régulateur de pression est installé dans les moyens de commande de gonflement de l'airbag de façon à ce que son

expansion soit limitée notamment en fonction du volume occupé par le carburant et son enveloppe à l'intérieur du réservoir et pour arrêter son gonflement de manière à ne pas dépasser les limites de surpression tolérable par la 5 structure du réservoir 100 fixées par le constructeur.

Une porte de maintenance 124 (figure 1a) est située sur un des côtés ou à une extrémité du réservoir 100 afin de permettre une installation facile de l'enveloppe, des vannes, capteurs, déclencheurs, de la « Bulle », et 10 un accès de maintenance facilité des différents éléments du dispositif qui sont installés à l'intérieur du réservoir. Une telle porte ou capot peut être aménagé pour des réservoirs existants dans lesquels on désire installer le dispositif.

15 Les différents moyens de contrôle et de sécurisation prévus par le dispositif sont connectés à un processeur central, schématisé en figure 5, comportant notamment des moyens de commande d'une alarme et permettant au conducteur ou pilote du véhicule d'être 20 informé de l'état de dangerosité du système de stockage et de distribution du carburant ou produit toxique qu'il transporte et du déclenchement manuel ou automatique des moyens de sécurisation mis en œuvre. Cette unité centrale du dispositif doit bien entendu être adaptée à chaque 25 réalisation de l'invention.

Sur la **figure 1b** est représentée une coupe du réservoir 100 à demi rempli afin de montrer une caractéristique importante de cette réalisation selon laquelle la déformation ou le gonflement de l'enveloppe 30 104 est progressif, en fonction de la quantité de carburant introduite.

Dans le cas de la réalisation du dispositif conforme à l'invention ayant pour objet la sécurisation de réservoirs mobiles de grande capacité (plus de 500 35 litres/kilos) destinés au transport de carburants ou de

produits toxiques, polluants et/ou potentiellement explosifs au contact de l'air, les grands volumes et, parfois, les plus longues durées de stockage impliqués entraînent la nécessité d'une vigilance accrue du fait du plus grand danger, justifiant un contrôle et une sécurisation plus élaborés ainsi qu'une instrumentation plus complète. D'un autre côté, leur grande taille et leur poids important font que le poids et la taille du dispositif avec ses éléments de sécurisation ne sont plus un obstacle. La miniaturisation et même les nanotechnologies sont, certes, disponibles dès aujourd'hui, mais pour certaines, à des prix encore élevés susceptibles de décourager les industriels quant à l'équipement de leur matériel avec le dispositif, retardant ainsi l'amélioration des conditions de sécurité dans leurs installations.

La **Figure 2a** illustre une coupe transversale d'un wagon ou d'un camion-citerne dont l'intérieur est équipé du dispositif, c'est-à-dire d'une enveloppe souple, d'un élément de type airbag, et d'une « Bulle » comme pour le réservoir plus petit de la **Figure 1**, et des moyens de contrôle et de suivi indispensables. L'utilisation d'enveloppes multiples est envisageable pour cette réalisation, en particulier dans le cas où la citerne transporte simultanément plusieurs carburants ou produits toxiques et/ou polluants différents qui doivent être contenus séparément.

En cas d'impact, la décélération induite peut entraîner des efforts structuraux considérables non seulement pour le réservoir, qui subit l'impact directement, mais aussi pour l'enveloppe, surtout si elle est remplie d'une masse importante de produit. L'inertie de cette masse peut générer des forces éventuellement insupportables sur les points d'attache, d'appui et de confinement que constitue la structure du réservoir pour

la (ou les) enveloppe(s). La fixation d'une enveloppe aux parois du réservoir peut provoquer la déchirure de ce dernier ou bien l'arrachement des raccordements et même la déchirure de l'enveloppe elle-même. La libération de 5 l'enveloppe de ces parois, points d'attache et raccordements en cas d'urgence, qui libère alors cette masse, risque, par exemple, de défoncer la paroi du réservoir au moment du choc. Si on imagine un wagon citerne à moitié vide, dont l'unique enveloppe 10 contiendrait une vingtaine de tonnes de produit, un impact brutal provoquant l'arrêt soudain du wagon a de bonnes chances de voir cette masse de produit faire sauter le capot supérieur de la citerne, s'il y en a un, ou bien défoncer la paroi opposée à l'impact, ou bien que 15 le wagon, déséquilibré, déraille et se renverse. Le dispositif devra donc être équipé de moyens de soutien et de retenue de l'enveloppe, tels que les maillages de sangles de retenue en nylon mentionnées plus loin pour la réalisation du dispositif destiné aux aéronefs gros 20 porteurs (voir **Figure 2b**).

Dans certains cas, il sera préférable de cloisonner le volume de produit/carburant en le contenant dans plusieurs enveloppes individuelles (voir **Figure 2b**), ou bien de cloisonner l'intérieur de l'enveloppe et/ou de 25 la structure du réservoir (non représenté), au moins partiellement, pour amortir le contrecoup de l'impact sur le déplacement du carburant/produit dangereux contenu dans les enveloppes, ainsi que des enveloppes elles-mêmes à l'intérieur du réservoir, à la suite du choc. Cette 30 compartimentation peut d'ailleurs être rendue initialement nécessaire, dans le cas, par exemple, des wagons citernes ou des cales de navires, dans lesquels plusieurs carburants ou produits dangereux différents doivent être transportés simultanément dans la même 35 citerne ou cale tout en restant séparés physiquement.

Cette option est représentée par la **Figure 2b** traitant de la réalisation de l'invention pour les réservoirs de carburant d'un avion gros porteur où, certes, un seul et même produit (le carburant) est stocké, mais dans des 5 quantités tellement importantes (> 150 tonnes à bord de l'avion), que la division des risques s'impose.

Si les enveloppes individuelles sont de grande capacité, cela implique le risque de voir se former dans le temps, en partie haute de l'enveloppe, une bulle 216 de mélange dangereux de gaz oxydants et de vapeurs de carburant ou toxiques. Le dispositif oblige alors à concevoir ces enveloppes avec un ou plusieurs points hauts qui canaliseront l'émergence et faciliteront l'évacuation de ces gaz/vapeurs réactifs qui émergent, 15 s'évaporent/se dissocient du produit stocké, ou bien se trouvent en solution ou en émulsion dans les produits liquides. Il faut alors équiper ces points hauts de « Bulles » 209, représentées plus loin (voir détails en **Figure 4**). Des mélanges de gaz/vapeurs adsorbés ou 20 interstitiels se dégagent aussi des carburants/produits dangereux solides notamment pulvérulents mais aussi en morceaux ou en grains, ou bien sous forme de fibres, stockés en vrac par exemple, par sublimation, décomposition et évaporation. Il faut donc, dans cette 25 réalisation particulière (non représentée), intégrer dans le dispositif l'instrumentation de mesure, de suivi et les moyens de sécurisation nécessaires ainsi qu'assurer la transmission des données recueillies à la « Boîte Rouge » pour les analyser/enregistrer et activer les 30 moyens d'intervention appropriés.

Pour les grands volumes, la possibilité de remplacer l'air qui remplit initialement l'espace libre des réservoirs/citernes autour des enveloppes destinées à contenir le carburant/produit toxique/polluant, par un 35 gaz inerte/non-réactif vis-à-vis du produit, doit être

utilisée impérativement, puisqu'elle constitue un niveau de protection supplémentaire du produit dangereux.

Ainsi :

5         • Pour les avions gros porteurs au sol, la neutralisation des espaces libres autour des enveloppes du dispositif contenant le carburant doit être effectuée par le remplacement intégral de l'air qui remplit ces espaces par un gaz inerte tel que l'azote pur par 10 exemple, provenant notamment d'unités de fabrication d'azote au sol et/ou en vol développés ou en cours de développement par l'art antérieur. En vol, on peut aussi recharger les espaces libres, au fur et à mesure que les enveloppes chargées de carburant diminuent de volume dans 15 chaque réservoir, avec des gaz brûlés (inertes et refroidis), prélevés à la sortie des turbines, ou bien par de l'azote pur extrait de l'air prélevé à la sortie des compresseurs des moteurs, par exemple par extraction à travers une membrane perméable sélective, ou à l'aide 20 d'une autre technique d'extraction de l'azote de l'air.

Le circuit de distribution de carburant représenté schématiquement dans la **Figure 3** permet d'installer des moyens de lavage/nettoyage/filtrage, de stabilisation et de refroidissement éventuel du carburant avant son 25 chargement dans la citerne enterrée puis de suivi au niveau de cette citerne et des raccordements avec le camion-citerne ainsi que du camion-citerne avec l'avion, de manière à s'assurer que le carburant chargé dans l'avion est stabilisé et sans danger.

30         • Pour les navires pétroliers, la ventilation de l'espace libre des cales est souvent effectuée avec les gaz brûlés d'échappement du moteur, refroidis à la sortie de la cheminée du navire. Il faut cependant s'assurer que l'atmosphère des cales est non-réactive pendant toute la 35 durée du temps de contact des vapeurs de produits

pétroliers avec l'air ; ce temps de contact ne doit jamais s'approcher du même ordre de grandeur que celui de la période d'induction du mélange vapeurs/air à la température de stockage, pour garder une large marge de 5 sécurité et éviter un accident d'auto-inflammation/explosion de la cale/soute concernée.

La procédure utilisée par les navires « méthaniens », transportant du méthane liquide à des températures extrêmement basses, consiste à conserver les 10 réservoirs vides à ces températures très basses, même après vidange. Ceci permet de bénéficier d'une marge de sécurité quasi illimitée quant au risque d'auto-inflammation des vapeurs de méthane contenues dans ces réservoirs.

15 • Pour les navires pétroliers en particulier et les avions, la déchirure, toujours possible, et même probable, de la coque/fuselage lors d'un accident en cas d'impact avec la mer ou sur des rochers, ou avec le sol pour ce qui concerne l'aéronef, résulte en un déversement 20 massif d'hydrocarbures dans la mer, avec les pollutions catastrophiques que l'on connaît, ou, pour les avions, les déversements sur le sol, avec les incendies et dégagements de vapeurs toxiques meurtriers qui se déclarent souvent lors d'atterrissements de fortune. Il 25 faut prévoir en tant que parade d'abord un renforcement de la résistance à la déchirure, à l'aide d'un cloisonnement/compartimentage du dispositif de contention de carburant/produit dangereux. L'utilisation d'enveloppes multiples et/ou de cloisonnements souples ou 30 rigides doit être adaptée spécialement à cette obligation de résistance mécanique (et thermique pour les avions). La double coque préconisée actuellement pour les navires pétroliers par exemple, n'est pas adéquate, comme le naufrage du Titanic l'a démontré il y a longtemps.

Un dispositif pour réservoirs mobiles de très grande capacité pour carburant ou produit dangereux, toxique et/ou polluant, camion-citerne, wagon-citerne, est décrit à l'aide de la Figure 2a.

5 Sur cette figure, les chiffres de référence ont la signification suivante :

-200 : wagon citerne.

-201 : isolation thermique.

-202 : capot d'inspection.

10 -203 : soupape d'entrée/sortie de gaz inerte.

-204 : clapet à sens unique d'évacuation du gaz inerte qui remplit l'espace libre du réservoir lors du gonflement du(des airbag(s)).

15 -205 : espace libre de la citerne (rempli de gaz inerte/non réactif 220).

-206 : carburant.

-207 : berceau, plafond et parois perforés de soutien et d'isolation de l'enveloppe et du(des airbag(s)).

20 -208 : capot de maintenance.

-209 : « Bulle » (voir Figure 4) (instrumentation non représentée).

-210 : enveloppe.

25 -211 : orifice d'entrée/sortie du carburant/produit dangereux.

-212 : moyens de refroidissement du carburant.

-213 : moyens de lavage/nettoyage/filtrage et de stabilisation du carburant.

-214 : airbag de contention de l'enveloppe.

30 -215 : airbags « rideaux », « plancher » et « plafond ».

-216-218 : vannes de fermeture des orifices d'entrée/sortie de l'enveloppe.

35 -220 : gaz inerte/non réactif de gonflage des airbags.

-222-223 : orifices d'entrée et de sortie de gaz inerte de gonflement du/des airbag(s).

Il faut mettre en lumière ici la nécessité de la présence des systèmes 212 et 213 de refroidissement et de lavage/nettoyage/filtrage/stabilisation du carburant. En effet, il est rappelé que les carburants industriels, notamment ceux destinés à alimenter les moteurs à turbine ou à réaction ont le plus souvent pour seules spécifications requises : d'une part d'être composés de produits de raffinage d'hydrocarbures issus de pétrole brut, d'essence naturelle, ou de leur mélange avec des hydrocarbures synthétiques, et d'autre part de se situer dans une certaine gamme de point d'éclair ou d'ébullition. En pratique, le résultat est un mélange de plusieurs centaines de produits différents, à l'intérieur desquels sont dissous en particulier de l'oxygène et autres produits oxydants. Il est donc fortement recommandé que l'oxygène dissous en particulier soit éliminé du carburant avant son introduction dans le dispositif. L'art antérieur montre que ceci peut être effectué par lavage du carburant avec de l'azote, déplaçant ainsi l'oxygène.

Le carburant est aussi supposé être livré à une température maximale prescrite souvent trop élevée ou dépassée pour ne pas être dangereuse, quand on sait que les vapeurs de celui-ci sont facilement inflammables à des températures proches de l'ambiente et qu'un départ de feu se propage même à basses températures.

Ces moyens de base sont assistés de moyens de contrôle et d'intervention, non représentés, qui peuvent être installés à tout endroit estimé nécessaire du dispositif.

Ces observations s'appliquent aussi par exemple aux systèmes 303-304 décrits plus loin.

Ne sont pas représentés des éléments complémentaires du dispositif tels que :

- Le circuit composé de raccords, vannes, tuyauteries, canalisations, dispositifs d'arrêt de flamme, filtres et autres éléments de remplissage et de vidange du carburant/produit dangereux.
- Les cartouches de gonflement des airbags, régulateurs de pression, ni les générateurs de mousse à effet retardant.
- Les moyens embarqués de refroidissement du carburant/produit, en cas de stockage prolongé.
- L'unité embarquée de production de gaz inerte.
- Les moyens d'évacuation de l'air, de stockage et d'injection de gaz inerte dans l'espace libre de la citerne.
- Les moyens de triage et de pompage des gaz/vapeurs s'accumulant dans la « Bulle ».
- Les moyens de stockage temporaire et circuits de recyclage, de récupération et/ou de neutralisation des gaz/vapeurs en question, jusqu'à destination.
- Les capteurs de température du produit, de l'atmosphère de l'espace libre et des parois de la citerne, le(s) détecteurs d'impact et déclencheurs de gonflement du/des airbag(s) et générateurs de mousse à effet retardant.
- Les détecteurs de présence de vapeurs de carburant/produit toxique et de mesure de leur concentration dans l'espace libre.
- Les instruments de contrôle de la présence dans le carburant de produits oxydants et de mesure de leur concentration.
- Les moyens d'évacuation/extraction des gaz/vapeurs qui s'accumulent dans la bulle.

- Les moyens de transmission de données à la « Boîte Rouge » à partir de la citerne et à un centre de contrôle éloigné.
- Les moyens de détection de fumées.
- 5       • Les moyens de déclenchement de lutte anti-échauffement ou anti-incendie, tels que des brumisateurs, générateurs de mousse ou d'inertage des espaces libres, ou autres moyens de refroidissement du produit ou de l'atmosphère, des parois du réservoir, ou encore 10 d'extinction d'un départ de feu.

Ces éléments du dispositif ne sont pas limitatifs, puisque ce dispositif doit être adapté selon les spécificités appropriés à la nature du carburant/ produit dangereux stocké/transporté et selon les conditions 15 auxquelles le dispositif peut être exposé lors de son utilisation courante ou en cas d'accident.

#### Réservoirs d'avion gros porteurs

20       Un dispositif d'enveloppes multiples pour réservoirs d'avion gros porteur est décrit à l'aide de la Figure 2b. :

25       Cette réalisation du dispositif conforme à l'invention est complexe à traiter. En effet, il faut :

d'une part,

30       éviter toute possibilité de départ de feu dans les espaces libres du/des réservoirs, comme pour les citernes fixes et, toute fuite accidentelle de carburant qui pourrait soit s'enflammer spontanément dès son contact avec l'air s'il se trouvait à une température élevée, soit être enflammé par une étincelle ou un point chaud, 35 comme pour les citernes mobiles de grande capacité

et, d'autre part,

éviter à tout prix un déversement massif (dizaines de tonnes) de carburant à partir des enveloppes, même 5 dans le cas d'un atterrissage de fortune, plus ou moins brutal, sur le ventre de l'avion par exemple, où l'on peut assister le plus souvent à un déchirement du fuselage et des réservoirs de l'appareil et à l'arrachement des réservoirs d'aile vers l'avant sous 10 l'effet de la décélération ou vers l'arrière si l'aile frotte par terre. Si le carburant se déverse sur le sol, son inflammation est alors quasi inévitable, déclenchée par les échappements brûlants des moteurs ou par des étincelles ou autres points chauds, et l'incendie qui en 15 résulte entraîne malheureusement le plus souvent des pertes importantes et inutiles en vies humaines, ainsi que la destruction totale de l'appareil.

La réalisation du Dispositif est décrite sur la 20 **Figure 2b**, vue en coupe d'une travée du réservoir central (CWT) d'un avion gros porteur (modèle Boeing 747). Les chiffres de référence ont la signification suivante :

- 200 : travée du réservoir central.
- 205 : gaz inerte remplissant l'airbag.
- 25 - 206 : carburant.
- 207 : cloisons perforées isolant les enveloppes des parois du réservoir.
- 209 : « Bulle ».
- 210 : enveloppe contenant le carburant ; elle 30 peut être souple, déformable, rigide ou semi-rigide ; son espace vide est rempli de gaz inerte.
- 211 : orifice d'alimentation/vidange de l'enveloppe.
- 214 : paroi de l'airbag d'une enveloppe 210.

- 215 : airbags-rideaux de protection des enveloppes des chocs ou contacts avec les parois du réservoir.

- 220 : gaz inerte remplissant les espaces libres.

5 - 221 : poutres de soutènement du plancher de la cabine passagers.

- 222 : plancher de la cabine.

- 223 : crochets d'accrochage des enveloppes.

- 224 : filets de maintien des enveloppes.

10

Une réalisation préférée pour ce cas de figure est l'installation du dispositif dans un avion de transport gros porteur notamment du type Boeing 747 actuellement en service. Avec ce dispositif on prévoit notamment :

15 • L'Insertion dans les grands réservoirs des enveloppes multiples dont la dimension et la charge seront déterminées par leur solidité, c'est-à-dire leur résistance mécanique en cas d'impact.

20 • L'attache de ces enveloppes aux parois des réservoirs et à la structure du fuselage (et/ou des ailes de l'avion), en particulier en les accrochant au plafond, aux poutres et aux membrures, éventuellement par l'intermédiaire de ressorts ou d'amortisseurs, pour amortir l'effet « brisant » d'un choc brutal.

25 Par exemple pour le Réservoir Central (CWT) du Boeing 747, qui comporte plusieurs travées transversales, chacune pouvant contenir plus de dix tonnes de carburant, il est possible d'envisager l'installation dans chaque travée de onze enveloppes par exemple, chacune contenant 30 moins d'une tonne à pleine charge (voir **Figure 2b**).

35 Selon la version représentée, destinée à équiper des appareils déjà en service, chaque enveloppe est suspendue à l'une des dix poutres auxquelles est fixé le plafond du réservoir central et qui soutiennent le plancher de la cabine passagers de l'avion, qui se

trouve juste au-dessus, si ces poutres peuvent supporter les efforts temporaires prévus.

Chaque enveloppe est posée sur un berceau souple ou rigide, en matériau léger, la protégeant d'un contact direct avec le plancher du réservoir qui est chauffé par les unités de conditionnement d'air et de pressurisation de l'avion; ce berceau, pouvant être en métal, ou en matériau synthétique ou composite, perforé par exemple, isolera thermiquement l'enveloppe du plancher du réservoir. Chaque enveloppe est de plus maintenue par des filets qui l'entourent et la gardent indépendante des enveloppes voisines. Ces filets, composés par exemple de sangles de fibres synthétiques, comme ceux utilisés sur certains avions pour maintenir en place les bagages placés en soute, empêchent notamment le glissement latéral, longitudinal et vertical des enveloppes en cas de mouvements désordonnés de l'aéronef dus à des turbulences atmosphériques ou bien pendant l'atterrissement. Ces filets empêchent aussi leur contact avec les parois, chauffées ou non, laissant un espace dans lequel se gonflent des airbags-rideaux pour protéger complètement chaque enveloppe en cas d'impact ; les espaces libres autour des enveloppes sont remplis de gaz inerte « pur ». Le dispositif comprend des moyens permettant de purger et de remplir ces espaces en tant que de besoin.

Chaque enveloppe est également entièrement entourée de son airbag, rempli initialement d'une petite quantité de gaz inerte, tel que de l'azote pur ou du gaz carbonique , lui permettant de se déformer au fur et à mesure que l'enveloppe est chargée en carburant tout en gardant une mince couche de gaz entre les deux lors du remplissage maximum. Le gonflement de l'airbag avec un gaz inerte/non réactif, froid, est commandé, à l'instant de l'impact, notamment par un accéléromètre tri-axial.

Dans cette éventualité, un capteur de pression, composé par exemple de fibres piézo-électriques incorporées dans son tissu, arrêtera automatiquement le gonflement de l'airbag (et la pompe du circuit d'alimentation en carburant) lorsque celui-ci aura rempli tout l'espace vide du réservoir, le gaz inerte occupant normalement cet espace s'étant évacué par les clapets (non représentées) prévus à cet effet, de manière à éviter de soumettre la structure du réservoir à une surpression interne ne dépassant pas la limite prescrite par le constructeur. Dans le cas du réservoir du Boeing 747, la limite autorisée est d'environ 30% de surpression, par rapport à 1 atmosphère.

En cas d'impact, un jeu d'« airbags-rideaux », gonflés eux aussi avec un gaz inerte, sont déclenchés simultanément à réception des données transmises par l'accéléromètre à la « Boite Rouge ». Ils sont positionnés dans les espaces libres du réservoir entre les filets et les parois, tout autour (y compris au-dessus et en-dessous) des enveloppes, et ont aussi pour rôle, en se gonflant, de remplir les espaces libres qui séparent les enveloppes des parois du réservoir, c'est-à-dire tout l'espace non occupé par les enveloppes contenant le carburant, créant ainsi un niveau de stabilité, de cohésion, de protection, de rigidité, d'isolation thermique et de confinement additionnel pour le carburant et les enveloppes, les préservant des séquelles de l'impact et des contacts avec les parois, offrant, de plus, un obstacle supplémentaire pour éviter tout déversement de carburant à l'extérieur du réservoir, même si celui-ci est déchiré ou perforé.

Le dispositif comprend aussi des éléments d'isolation thermique (non représentés) des parois « chauffées » du réservoir permettant de diminuer et de retarder l'échauffement du carburant à l'intérieur des

enveloppes, même si le réservoir est exposé à un incendie extérieur, comme cela peut se produire en cas d'atterrissement de fortune.

Le dispositif peut aussi inclure des moyens 5 d'activation, le long des parois, entre celles-ci et les « airbags », de générateurs de mousse de produit retardant ininflammable, remplie de bulles de gaz inerte en émulsion, et ayant de bonnes caractéristiques d'isolant thermique. Cette mousse agit comme élément 10 supplémentaire pour retarder l'échauffement éventuel du carburant à l'intérieur des enveloppes en cas d'incendie à l'extérieur du réservoir, ainsi que l'échauffement des « airbags » et, en fin de compte, freiner le développement de l'incendie, donnant ainsi le temps 15 nécessaire aux moyens matériels et humains de lutter contre l'incendie pour intervenir et l'éteindre. Il faut en effet éviter le plus longtemps possible tout déversement et/ou inflammation de carburant même minime dans l'atmosphère ou sur le sol à proximité de l'avion 20 pour donner le temps aux passagers et à l'équipage de quitter l'avion et aux moyens de lutte contre le feu d'entrer en action. Le réservoir central (CWT) du Boeing 747 contient environ cinquante tonnes de carburant, et chacun des réservoirs principaux d'aile, mitoyens, en 25 contient presque autant. Leur inflammation quasi instantanée dégage une quantité de chaleur dévastatrice.

Dans le cas d'un transport aérien, le dispositif a pour but d'éliminer les dangers.

\* d'une part, l'incendie/explosion, au sol ou en 30 vol, des vapeurs de carburant présentes dans les espaces libres des réservoirs d'avions gros porteurs par suite d'un stockage pendant une durée qui dépasse la période d'induction du mélange de vapeurs avec l'air ambiant ; il est rappelé que cette inflammation « spontanée » peut tout simplement traduire un niveau de température ou de 35

suroxygénéation local aboutissant à une valeur quasi-nulle de l'énergie minimale d'inflammation du mélange.

• d'autre part, l'inflammation ou déflagration ou explosion du mélange ou nuage de vapeurs-air ambiant résultant du carburant liquide, déversé massivement sur le sol lors d'un atterrissage de fortune par suite de l'éventration des réservoirs situés dans le fuselage et dans les ailes de l'avion, qui s'enflamme aux alentours immédiats de la carlingue, c'est-à-dire des passagers et membres d'équipage. L'inflammation de ce mélange est dû soit au contact du carburant déversé avec les gaz d'échappement ou les moteurs à très haute température, soit avec des pièces métalliques chauffées ou émettant des étincelles par leur frottement sur le sol, soit encore avec des étincelles provenant par exemple de court-circuits dans les systèmes électriques endommagés lors de l'impact. Sans ce déversement et sans le nuage enflammé qui enveloppe la carlingue, et dont la chaleur intense peut dépasser 1000° Celsius, faisant fondre le métal de la carlingue et s'enflammer l'intérieur de la cabine en moins de quatre vingt dix secondes, les passagers et l'équipage survivraient à l'accident. L'impact de l'atterrissage dans ce type d'accident devrait normalement provoquer seulement des blessures légères au lieu de provoquer la mort de centaines de personnes, brûlées et/ou asphyxiées.

Le dispositif d'équipement du Boeing 747, partiellement représenté, à titre d'exemple parmi d'autres découlant de l'invention, par la **Figure 2b** est destiné à être réalisé selon la construction actuelle de cet avion. Il nécessite des modifications, non représentées, des circuits actuels de distribution de carburant, de trop-plein et de ventilation des espaces libres des réservoirs de ce modèle et des modèles comparables, notamment du même constructeur (Boeing 707,

727, 737, 767), mais aussi d'autres constructeurs d'avions gros porteurs, notamment Airbus Industries, tels que des avions-cargo, des avions citernes ou avions de ligne pour le transport de passagers qui volent 5 aujourd'hui et sont au nombre de plusieurs milliers d'appareils. Certaines modifications initiales de structure des avions en cours de conception faciliteront grandement l'adaptation du procédé, avec un poids et un coût inférieurs ainsi qu'une maintenance facilitée.

10 Le circuit de remplissage et de vidange de carburant est raccordé à la base de chaque enveloppe. Comme pour toute enveloppe de grande capacité, une « Bulle » 209 d'accumulation des gaz et vapeurs est aménagée dans la partie haute de chaque enveloppe, tout 15 comme dans celle de la citerne mobile 200 (**Figure 2a**). La vidange en partie basse ajoutée à la dépression de la pompe assure que l'enveloppe se dégonfle au fur et à mesure que le carburant est évacué par le système d'alimentation des moteurs et/ou de transvasement d'un 20 réservoir à l'autre (pompes et vannes non représentées) et se vide aussi complètement que possible.

25 Selon une autre variante, qui peut être utilisée pour les avions de ce type actuellement en service, les parties de l'enveloppe qui risquent d'être en contact avec les parois chaudes des réservoirs sont doublées de matériaux isolants thermiques supplémentaires (non représentés). Il est cependant rappelé que le dispositif, comme déjà dans le cas de la citerne enterrée 3a, de la citerne mobile 3b et du réservoir 322 de camion, implique 30 d'accroître les propriétés d'isolation thermique des parois du réservoir, du matériau de fabrication de chaque enveloppe et de celui des airbags.

35 Un ensemble d'avitaillement en carburant d'un avion gros porteur au sol est décrit à l'aide de la Figure 3, reprenant différents éléments du dispositif conforme à

l'invention.

Cette réalisation du dispositif illustre le stockage, le transport et la manutention de carburant destiné à l'avitaillement d'un aéronef au sol et du stockage de carburant à son bord, au sol et en vol. Le transfert de carburant 306 d'une citerne 300 enterrée vers un aéronef 320 via un camion citerne 310, à travers un circuit de distribution 308, y est représenté.

10 Les chiffres de référence ont la signification suivante :

- 300 : paroi de la citerne enterrée.
- 301 : espace libre de la citerne, rempli de gaz inerte/non-réactif, communiquant par une (des) soupape (s) d'équilibrage de pression connectée(s) à un (des) stockage(s) temporaire(s) de ce gaz, situé (s) à l'extérieur de la citerne.
- 302 : enveloppe contenant le carburant, étanche, déformable, ou pré-pliée en accordéon pour permettre sa vidange complète. Si elle est rigide, elle est remplie de gaz inerte au fur et à mesure de la vidange du carburant de manière à garder sa forme initiale, par des moyens non représentés).
- 303 : moyens de stabilisation ou nettoyage ou filtrage du carburant.
- 304 : moyens de refroidissement du carburant.
- 305 : points hauts des citernes enterrées et mobiles.
- 306 : carburant.
- 307 : « Bulle » d'évacuation ou extraction ou tri des gaz ou vapeurs de l'enveloppe vers des stockages temporaires, non représentés.
- 308 : circuit de distribution de carburant.
- 309 : moyens de pompage ou recyclage du carburant.

- 310 : remorque du camion-citerne.
- 311 : réservoir du tracteur du camion-citerne.
- 312 : orifice de remplissage/vidange de la citerne enterrée.

5 - 320 : avion à réaction gros porteur.

Description de certains éléments de la Figure 3 :

L'instrumentation peut, dans certaines 10 réalisations, y compris celle représentée en Figure 3, comprendre notamment des capteurs autonomes de très petite taille (millimétriques) appelés « motes » en anglais et comprenant un microordinateur, des moyens de transmission de données, des analyseurs, des moyens 15 d'alarme ou d'intervention, des détecteurs, notamment sous forme de fibres piézo-électriques, incorporés dans la paroi de l'airbag, de l'enveloppe pour détecter une soudaine baisse de pression à l'intérieur, signalant une fuite de carburant ou autre avarie ; cette 20 instrumentation n'est pas représentée, puisqu'elle fait partie intégrante du dispositif dont la vocation est la prévention à tout moment de tout contact entre le carburant et l'air (ou tout autre comburant), la surveillance de l'efficacité de cette séparation physique 25 et la mise en œuvre de moyens correctifs en cas d'avarie ou d'accident.

**Point Haut de l'enveloppe de la citerne enterrée :**

30 Il faut prévoir, dans la « Bulle » qui coiffe le point haut de l'enveloppe 302, en tant que de besoin, l'instrumentation et les moyens du dispositif qui sont notamment représentés sur la Figure 4 ci-après, qui 35 détaille l'équipement représentatif d'une « Bulle », à conformer selon le dispositif requis et la nature du

carburant/produit dangereux et en fonction des impuretés éventuellement présentes dans le produit.

**Moyens de récupération et de stockage :**

Les réservoirs de stockage temporaire des gaz ou 5 vapeurs extraits ou évacués du dispositif et/ou de l'espace libre de la citerne par des pompes, au travers d'un circuit de canalisations, clapets, vannes, et équipés d'instrumentation ne sont pas représentés, ni les moyens de ré-injection éventuelle de certains gaz ou 10 vapeurs dans le carburant ou dans le circuit d'admission d'air du moteur du camion ou des moteurs de l'avion, ou bien destinés à être recyclés ou neutralisés par les moyens mis en œuvre par le dispositif.

15 **Le circuit de distribution de carburant 308 :**

Il comprend des embouts, raccordements, vannes, pompes, clapets, tuyauteries, éléments d'arrêt de flamme, réservoirs de stockage temporaire. Il n'est pas représenté de manière détaillée.

20

La citerne enterrée 300, la citerne du camion 310, les réservoirs de l'avion 320, leurs enveloppes, leur « Bulles », et le circuit de distribution de carburant 308, qui constituent une partie intégrante du dispositif, 25 doivent être, si besoin est, dotés, entre autres, des mêmes équipements, instruments et moyens que le réservoir 100, son enveloppe 104 et sa « Bulle » 128 .

Il n'est évidemment pas indispensable d'équiper la citerne enterrée des équipements spécifiques du 30 dispositif découlant du risque d'impact et de renversement, puisqu'il ne s'agit pas d'une citerne mobile, sauf si la citerne est placée dans une zone à risques sismiques.

Le circuit de canalisations, raccords, vannes, 35 pompes et système de distribution et de stockage du

carburant dans le camion-citerne (non représenté) fait partie intégrante du dispositif. Aucune entrée d'air dans le circuit ne peut être tolérée. De même, la température du carburant dans le circuit doit être maintenue à la 5 valeur basse prescrite initialement par l'opérateur selon la durée prévue du stockage, pour assurer la marge de sécurité nécessaire. Tout échauffement du carburant par rapport à cette valeur doit être détecté et les moyens mis en œuvre, éventuellement par un ou plusieurs éléments 10 de refroidissement embarqués (non représentés), pour ramener la température du carburant au niveau prescrit.

Le carburant qui est introduit dans les réservoirs de l'avion doit être stabilisé, comme partout dans le 15 dispositif. Cela implique de disposer des moyens nécessaires pour vérifier, en tant que de besoin, l'état du carburant dans les canalisations 308 du circuit d'avitaillement. Le cas échéant, si la qualité livrée ne correspond pas aux spécifications requises par 20 l'opérateur, le commandant de bord peut refuser la cargaison. En particulier, si le carburant livré est trop chaud, et donc trop dangereux, il faudra qu'il soit refroidi, et, dans ce but, que des moyens de 25 refroidissement, par exemple un échangeur de chaleur au sol ou monté sur le camion-citerne, ainsi que des moyens de contrôle de la dangerosité du carburant soient mis en œuvre avant que le carburant ne soit chargé dans l'avion.

Le refroidissement du carburant en vol ne devrait pas normalement être nécessaire si celui-ci est chargé à 30 la température prescrite. Cependant cette éventualité devra, dans certains cas, être envisagée pour des avions se posant régulièrement sur des aéroports ne disposant pas de refroidisseur au sol, de même que dans le cas où un échauffement du carburant est décelé en vol.

35 Le dispositif conforme à l'invention est destiné

tout d'abord à supprimer le risque à la source en veillant à ce que le carburant 306, chargé dans l'avion pour être stocké et ensuite brûlé sous contrôle dans les moteurs, ne présente aucun danger d'auto-inflammation ou 5 d'explosion.

Pour cela, il est impératif de vérifier la composition, l'état, la stabilité et la température du carburant avant qu'il ne soit chargé dans la citerne 300. Il faut exiger (et contrôler) que le carburant soit 10 « propre », c'est-à-dire débarrassé d'impuretés solides, liquides, gazeuses ou dissoutes, chimiques ou biologiques, selon les spécifications de qualité prescrites par l'opérateur. Il faut aussi qu'il soit stable, qu'il présente une vitesse d'auto-oxydation, 15 auto-catalyse (de vieillissement) négligeable par rapport aux durées de stockage envisagées, la concentration en peroxydes, par exemple, en tant qu'indicateur de danger de réactivité du carburant, devant être mesurée à la livraison à l'aide des tests accélérés développés par 20 l'état de l'art. Il faut également s'assurer que la température du carburant est celle fixée par l'opérateur, et que le point d'éclair du mélange carburant soit 25 conforme aux spécifications. Il faut enfin que la durée des stockages précédents ne dépasse pas la durée de péremption d'utilisation du carburant ou du produit, qui doit être indiquée et garantie par le fournisseur. Face à 30 la nécessité, dans un but de sécurité, de vérifier les déclarations du livreur/vendeur de produit/carburant, le dispositif comprend des moyens 303 et 304 de contrôle, de nettoyage, de stabilisation et de refroidissement du produit livré. Ces moyens sont accompagnés de détecteurs 35 et de capteurs, notamment de température, appropriés, non représentés. L'opérateur peut ainsi décider, en toute connaissance de cause, si le carburant est recevable ou non pour être chargé dans la citerne 300 et ensuite

dirigé vers l'avion ou, s'il est non-conforme, dangereux et doit être contrôlé et si nécessaire traité et stabilisé au préalable dans le dispositif à l'aide des moyens 303-304 pour le rendre conforme, ou être refusé.

5 Les différents réservoirs où est stocké le carburant (citerne 300, véhicule 320 et aéronef 313) doivent être équipés d'enveloppes souples 302 selon le dispositif conforme à l'invention.

La citerne 300 doit être instrumentée.

10 L'instrumentation comporte des moyens similaires à ceux mentionnés précédemment pour équiper le réservoir 100 et son enveloppe 104, et décrits avec la description de la « Bulle » de la **Figure 4** ci-après.

15 On décrit, à titre d'exemples non-exhaustifs, à l'aide de la figure 4, certains détails de l'élément « Bulle » du dispositif, cet élément étant situé au point haut d'une enveloppe de confinement ou stockage de carburant ou autre produit dangereux :

20 Les chiffres de référence ont la signification suivante :

- 400 : paroi de l'enveloppe,

- 401 : bulles d'air ou d'autres gaz en suspension,

- 402 : carburant,

- 403 : espace libre du réservoir ou citerne,

25 - 404 : paroi supérieure de la citerne ou réservoir,

- 405 : « Bulle »,

- 406 : vapeurs et gaz,

- 407 : dévésiculeur, éponge ou mousse de trop-

30 plein

- 408 : barrière poreuse d'arrêt de flamme,

- 409 : membranes d'extraction sélectives,

perméables notamment à l'oxygène, ou autres gaz ou vapeurs dangereux présents dans l'espace libre du

35 réservoir,

- 410 : membranes d'extraction d'oxydants ou d'introduction de gaz inerte/non réactif ou neutralisant,
- 411 : membrane d'extraction sélective,
- 412 et 412bis : orifices de purge vers des stockages temporaires des gaz et vapeurs indésirables ou dangereux émanant du point haut de l'enveloppe 406, le tri étant effectué par la membrane 411,
  - 413 et 413bis : orifices d'évacuation de l'espace libre du réservoir vers des stockages temporaires, du gaz inerte en cas de surpression lorsque l'« airbag » est gonflé subitement, et des gaz ou vapeurs dangereux éventuellement détectés, après le tri réalisé par les membranes sélectives 409 et 410,
  - 414 : brumisateur de refroidissement des vapeurs de l'espace libre du réservoir,
  - 415 : détecteur de vapeurs d'hydrocarbures ou de comburants dans l'espace libre du réservoir, instruments de mesure de leur nature, concentration et température,
  - 416 : vannes, électromagnétiques par exemple, de fermeture d'orifices de l'espace libre du réservoir en cas d'accident, ces vannes étant similaires aux vannes 116 de la Figure 1,
  - 417 : vanne de remplissage ou vidange ou évacuation de l'espace libre du réservoir ou citerne (comme 117 de la **figure 1**),
  - 418 : vanne de fermeture de l'enveloppe et de l'airbag, détachable de la paroi en cas d'accident,
  - 420 : paroi(s) de l'airbag,
  - 421 : isolation thermique de la paroi extérieure du réservoir.

Description supplémentaire de la figure 4

- La « Bulle » 405 constitue le raccordement sécurisé de l'enveloppe 400 à l'environnement extérieur

du réservoir. Son rôle, dans le dispositif, est, d'une part, de canaliser les bulles d'air ou d'autres gaz dissous ou en suspension dans le carburant, ainsi que les vapeurs émanant de la surface du carburant ou produit 5 contenu dans l'enveloppe, ainsi que de mesurer dans celle-ci des paramètres requis, et, d'autre part, de permettre l'insertion d'instruments à l'intérieur de l'espace libre 403 du réservoir

• **Dévésiculeur-éponge/Mousse de trop-plein 407 :**  
10 positionné à l'entrée de la « Bulle » un dévésiculateur/éponge de trop plein permet d'éviter, notamment au moment du remplissage de l'enveloppe, que du produit liquide ne s'échappe vers l'intérieur de la « Bulle »

15 • **Elément d'arrêt de flamme 408** dans la « Bulle » : son but est d'équiper la « Bulle » d'une barrière poreuse d'arrêt de flamme pour empêcher la propagation d'une flamme venue de l'extérieur de la « Bulle » vers l'intérieur de l'enveloppe et de supprimer le risque d' 20 auto-inflammation de l'atmosphère dangereuse, probablement suroxygénée, qui peut se trouver dans son point haut 406 dans certaines conditions.

• **Membranes d'extraction** : plusieurs types de membranes perméables sélectives, actives ou non, sont 25 intégrées dans le dispositif selon les besoins. Certaines sont localisées dans la « Bulle » (409, 410, 411), comme représenté, pour permettre d'évacuer vers des stockages temporaires appropriés l'atmosphère de gaz-vapeurs du point haut à l'intérieur de l'enveloppe par les orifices 30 d'évacuation 412 et 412bis, ainsi que l'atmosphère présente dans l'espace libre du réservoir, par les orifices 413 et 413bis. Ces membranes peuvent se présenter, par exemple, sous forme tubulaire concentrique, ou bien sous forme de films, de plaques, de 35 nanotubes ou encore être remplacées par des cartouches de

sorption/dissolution. La nature du produit stocké et celle du gaz inerte dictent le choix des membranes utilisées, adaptées aux gaz ou vapeurs que l'on veut séparer. Une membrane peut être mise sous pression, soit 5 au moyen d'une pompe, soit en prélevant l'air à la sortie des compresseurs des moteurs par exemple, pour extraire l'azote de l'air, soit pour extraire l'oxygène des gaz imbrûlés prélevés à la sortie des turbines pour être utilisés en tant que gaz inertes. Ces membranes peuvent 10 faire partie des moyens de nettoyage 303 ou de divers éléments du dispositif au cours du stockage, du transport, de la manutention du produit, chaque fois qu'il sera nécessaire de maîtriser la dangerosité de 15 celui-ci et de mettre en œuvre des moyens pour extraire les gaz-vapeurs dangereux tels que les oxydants ou autres réactifs. Elles peuvent, par exemple, faire partie intégrante de certaines surfaces d'une enveloppe, ou être placées dans certains éléments du circuit de distribution 20 de carburant 308 ou des parois des espaces libres des citernes ou réservoirs.

• **Membranes d'introduction** : de même, des membranes perméables sélectives pourront être utilisées pour purifier et injecter du gaz inerte, non-réactif tel que l'azote de l'air ou des gaz d'échappement, ou des gaz 25 ou vapeurs neutralisants dans les espaces libres du dispositif, par exemple par la vanne 417.

• **Réservoirs de stockage temporaire** : ces réservoirs, non représentés, ont pour objet le stockage de tous produits dangereux, indésirables et/ou polluants, 30 généralement sous forme de gaz et/ou de vapeurs, recyclables ou non, c'est-à-dire qui doivent être évacués du dispositif, tels que les oxydants et autres produits réactifs. Certains de ces produits telles que les vapeurs de carburant ou produit dangereux peuvent être condensés 35 par un élément du dispositif (non représenté) et

éventuellement réinjectés dans le circuit ; d'autres, indésirables, seront conservés dans les réservoirs de stockage temporaire pour éviter leur rejet dans l'atmosphère, qui n'est plus admis de nos jours (politique du « rejet zéro »). Ils devront être étanches et construits de matériaux résistant au produit d'origine et aux sous-produits qui y seront stockés. S'il s'agit de produits dangereux, inflammables/explosifs, toxiques et/ou polluants, ils seront équipés des éléments nécessaires pour sécuriser leur stockage jusqu'au déstockage.

• **Vannes 416 et 417 de fermeture automatique des orifices du réservoir** : les vannes 416 et 417 sont similaires aux vannes 116 et 117 de la **figure 1**. Elles sont fixées à l'origine, comme la « Bulle », à la paroi du réservoir et leur fermeture est réalisée par un mécanisme électromagnétique par exemple. En cas d'accident, l'une a pour fonction d'obturer l'orifice d'entrée dans la « Bulle » à partir de l'enveloppe, l'autre d'obturer l'orifice d'entrée/vidange du carburant chargé dans l'enveloppe. Elles sont fermées en cas d'incident ou d'accident pour empêcher toute entrée d'air ou d'autres gaz-vapeurs dans le réservoir. Leur alimentation électrique s'effectue par un câblage extérieur au réservoir et à son espace libre, pour éviter toute présence d'une source d'inflammation potentielle près de la poche 406 d'espace gaz-vapeurs du point haut de l'enveloppe 400, de l'intérieur de l'enveloppe ou de l'espace libre 403 du réservoir. Les vannes sont activées dans le cas précis par exemple, où la « Boîte Rouge » aurait détecté une « atmosphère explosive » formée de vapeurs de carburant et d'oxygène ou autres oxydants, dénotant une fuite potentielle de l'enveloppe, mélange analysé par les capteurs dont les données sont transmises à la « Boîte Rouge ».

• **Vannes 418 de fermeture de l'enveloppe** : Ces vannes sont similaires aux vannes 118 de la Figure 1. Elles ont pour fonction d'obturer les orifices de l'enveloppe raccordés à la « Bulle » et aux orifices de remplissage/vidange de carburant, de manière, en cas d'avarie de l'enveloppe ou d'accident, à empêcher toute sortie de carburant/produit hors de celle-ci, en serrant ensemble hermétiquement à son (ses) embouchure(s) l'enveloppe 400 et l'airbag 420 qui l'entoure, la (les) paroi(s) de l'airbag étant éventuellement collée(s) à l'enveloppe au préalable en cet endroit, c'est-à-dire à l'intérieur de la vanne 418. La fermeture de cette vanne peut être réalisée par le même mécanisme que celui des vannes 416. Cette fermeture doit être effectuée quasi-instantanément, puisque le déclenchement des moyens de gonflage de l'airbag est commandé quasi-simultanément, mais avec une temporisation prescrite. Ces vannes, fixées à l'origine aux vannes 416, doivent, après fermeture simultanée des deux vannes 416-418, être libérées de leur fixation à la paroi du réservoir, notamment par des boulons sécables, éventuellement aidées d'une impulsion donnée par le mécanisme de fermeture, pour permettre à l' « airbag » de protéger la paroi de l'enveloppe de celles du réservoir. La forme donnée à l'airbag une fois gonflé permet d'obtenir ce résultat. De telles vannes exercent les mêmes fonctions pour obturer tous les orifices, non représentés, de la paroi de l'enveloppe et du réservoir.

• **Maintenance de l'instrumentation** : la « Bulle » 405 est fixée à l'extérieur de la paroi du réservoir pour faciliter sa maintenance. En effet, pour limiter au minimum le nombre des orifices de l'enveloppe, la quasi-totalité des capteurs - qui doivent mesurer la température et autres paramètres du produit à l'intérieur de l'enveloppe et de l'espace libre du réservoir et qui

ne seraient pas équipés de moyens sans fil (ou de moyens « passifs » de génération d'électricité, tels que des vibrateurs piézoélectriques), de transmission des données - sont implantés notamment à partir de la « Bulle ». Les 5 raccords et embouts, ainsi, en tant que de besoin, les capteurs et détecteurs de température et de pression du carburant, de concentration de vapeurs, de mesure de température des gaz et vapeurs, de présence d'autres oxydants, peuvent aussi y être logés.

10           • Récepteurs/transmetteurs « passifs » sans fil : les données recueillies par l'instrumentation de la « Bulle » ou d'autres éléments du dispositif sont transmises à la « Boîte Rouge » du dispositif, pour analyse, enregistrement, comparaison avec les valeurs 15 prescrites par l'opérateur pour assurer la sécurité. Certaines données ou commandes pourront aussi être transmises par des moyens offrant un risque quasi-nul de source d'inflammation tels que fibres optiques, réseaux de Bragg et moyens sans fil agréés.

20

Certains moyens automatiques ou manuels sont mis en œuvre en cas de détection d'augmentation du niveau de dangerosité.

Ces moyens sont par exemple :

25           • le déclenchement du gonflement de l'airbag 420, suite au signal transmis par un accéléromètre tri-axial (en cas d'impact) et/ou par un capteur de température sur la paroi du réservoir/citerne (en cas d'incendie environnant), et/ou par suite de la détection 30 d'une soudaine baisse de pression à l'intérieur de l'enveloppe contenant le produit (indiquant une fuite présumée),  
35           • l'arrêt du gonflement de l'airbag suite, par exemple, aux données transmises par une jauge piézoélectrique indiquant que la pression à l'intérieur

de l'airbag a atteint le niveau prescrit toléré par la structure du réservoir et du dispositif, indiquant que l'airbag ainsi gonflé remplit l'espace vide de manière adéquate pour protéger l'enveloppe,

5       • le déclenchement de moyens de neutralisation ou d'extraction par un détecteur de présence de gaz/vapeurs en concentrations dangereuses dans l'espace libre (en cas de fuite) ou de concentration dangereuse

10      d'oxygène/oxydant dans l'espace libre 406 de l'enveloppe, provoquée par une infiltration d'air dans celle-ci ou, par exemple, en cas de dégradation/décomposition du produit,

15      • l'activation des vannes de fermeture automatique 416-418, sans oublier leurs homologues placées aux autres orifices de l'enveloppe et du réservoir, notamment à l'endroit du/des raccordements au circuit de distribution du carburant/produit). Cette énumération n'est ni exhaustive ni limitative.

20      Ces déclenchements feront, dans certains cas l'objet, (sur exigences de l'opérateur) de séquences programmées et d'une temporisation prescrite par la « Boîte Rouge » qui commandera, entre autres, sous réserve éventuelle de contrordre de l'opérateur, les moyens d'arrêt de la pompe d'alimentation ou vidange du circuit de distribution de produit et tous les autres moyens de sécurisation et/ou d'alarme appropriés.

25      De même, ne sont pas représentés, les pompes, vannes, clapets, canalisations et câblages, antennes de transmission sans fil, et autres éléments d'arrêt de flamme, dévésiculeurs/ éponges de trop-plein du dispositif, réservoirs de stockage temporaire de gaz et vapeurs, réservoir d'eau ou d'autres produits de refroidissement et/ou de neutralisation, pour alimenter le(s) brumisateur(s), tous extérieurs à la « Bulle ».

La « Bulle » de la **figure 4**, qui coiffe au moins un Point Haut d'au moins une enveloppe pour y recueillir gaz et vapeurs, recueille des vapeurs de carburant/produit, dont la quantité est notamment fonction de la température 5 du carburant. Si, dans le cas de stockage de carburant, l'atmosphère de gaz/vapeurs accumulés à l'intérieur de cette poche 406 située au point haut de l'enveloppe s'avérait inflammable, ce qui est probable, et si sa température fait baisser son énergie minimale 10 d'inflammation/explosion à une valeur minime de quelques fractions de micro-joules, le risque de son auto-inflammation/explosion est réel et ne peut être négligé. L'évacuation, la purge, le pompage, le tri, le stockage séparé, le recyclage et la neutralisation du contenu de 15 cette poche dangereuse doit donc être prévu et mis en œuvre par les moyens appropriés commandés par la « Boîte Rouge ». Ces moyens impliquent notamment l'utilisation d'une pompe d'aspiration de l'atmosphère de la poche 406, d'un système d'injection de vapeurs de carburant pour 20 rendre le mélange présent dans la poche trop riche pour être inflammable, d'une ou plusieurs membranes (positionnées dans la paroi de la poche et/ou dans la Bulle) perméables (non représentées) de manière sélective à certains gaz tels que l'oxygène, qu'il faut évacuer à 25 tout prix, ou aux vapeurs de carburant/produit stocké, en combinaison avec d'autres membranes, perméables à des gaz non-réactifs/inertes, prélevés soit dans un stockage temporaire prévu à cet effet, ou à partir du gaz inerte de l'atmosphère 403 qui occupe l'espace libre du 30 réservoir pour être injectés dans cette poche et/ou dans la Bulle pour y remplacer les oxydants dangereux. Certains de ces gaz vapeurs seront évacués par la « Bulle » au travers de la membrane 411.

De même, l'utilisation de membranes perméables 35 sélectives pour évacuer des gaz/vapeurs de la

couverture/enveloppe de stockage peut être envisagée par exemple pour une réalisation (non représentée) de stockage en vrac notamment de charbon actif, lequel génère entre autres de l'hydrogène produit par son auto-oxydation lente. Ce gaz peut faire l'objet d'une extraction en utilisant, par exemple, une membrane sélective appropriée qui fait partie intégrante de l'enveloppe à l'endroit de son/ses point(s) haut(s). De manière complémentaire, une membrane sélective d'introduction d'azote de l'air extérieur peut servir à remplacer l'oxygène de l'air interstitiel, réactif qui est la cause habituelle de l'auto-oxydation (et de l'auto-échauffement) et d'incendie éventuel de ce type de stockage. Le mélange hydrogène-oxygène peut ensuite, par exemple, être brûlé sous contrôle sans émission polluante, en fournissant de la vapeur d'eau et de la chaleur, ou être séparés et stockés.

De même, dans le dispositif, destiné à des réalisations (non représentées), de sécurisation de stockages de longue durée, par exemple de plusieurs mois ou même de plusieurs années dans des citernes ou silos, il faut rappeler qu'il est indispensable de conserver le carburant/produit dangereux à suffisamment basse température pour que la durée du stockage envisagée ne s'approche pas trop du délai d'auto-inflammation prévisible du produit stocké. Cependant, le danger ne sera vraiment écarté que si le carburant/produit solide stocké est débarrassé de toute présence d'impuretés oxydantes et d'air interstitiel, c'est-à-dire préservé de tout contact avec de l'oxygène et, dans le cas d'un carburant ou produit liquide, de l'oxygène ou air et autres impuretés oxydantes, réactifs, dissous ou en suspension. Dans le cas du stockage en vrac de solides, en particules, ou grains, fibres, morceaux, feuilles, farines ou poudres de produits combustibles, l'air est

initialement présent dans les espaces interstitiels du produit et il faut envisager non seulement le refroidissement, mais aussi le « balayage », c'est-à-dire le nettoyage du produit une fois contenu dans son enveloppe, par ventilation forcée avec un gaz non-réactif vis à vis du produit, qui déplace et purge le stockage de l'air initialement présent, ou tout au moins de l'oxygène ou autre gaz/vapeur oxydant qu'il contient, à moins qu'une mise sous vide temporaire ou permanente ne soit envisageable. Le gaz inerte peut être récupéré lors du déstockage notamment par pompage à travers une membrane adéquate, pour réutilisation future. Si une partie de l'oxygène est adsorbée à la surface des morceaux de produit solide stocké, le suivi de l'auto-oxydation du produit dans l'enveloppe devra être maintenu en permanence avec une instrumentation déjà évoquée pour le dispositif, tant pour détecter et mesurer un dégagement de chaleur possible (auto-échauffement qui a pour effet de réduire exponentiellement la marge de sécurité restant avant auto-inflammation du stockage), que la formation de produits oxydants corrosifs et/ou potentiellement toxiques, inflammables et/ou explosifs lorsqu'ils sont mis en présence de l'air.

Les moyens de ventilation/purge doivent pouvoir être mis en oeuvre lorsque le dispositif de stockage est fixe ou en déplacement, et le dispositif doit être adapté en conséquence.

Un processeur ou ordinateur central du dispositif (« Boîte Rouge ») est décrit, à l'aide de la figure 5.

Des moyens d'analyse, de contrôle et d'intervention, propres à une réalisation du dispositif conforme à l'invention sont représentés schématiquement à l'aide de la figure 5. L'analyse des données reçues, leur

intégration, et les moyens d'intervention sont regroupés par la suite dans un élément dénommé « Boîte Rouge », indiquant de manière non-exhaustive et non limitative les paramètres physiques et chimiques mesurés, analysés, 5 suivis et enregistrés, ainsi que les fonctions d'activation des moyens d'intervention du dispositif. Des moyens de réception et de transmission de données sans fil, ou par fibres optiques et réseaux de Bragg, ou par d'autres types de moyens, passifs autant que possible, ne 10 sont pas représentés. Les moyens d'enregistrement ne sont également pas représentés.

Les chiffres de référence ont la signification suivante :

15 Paramètres Physiques

- 501 : Taux de remplissage de l'enveloppe.
- 502 : Accélération Tri-axiale.
- 503 : Pressions.
- 504 : Températures et Energies Minimales ammation (EMI).
- 505 : Temps de contact.
- 506 : Fumée, Ionisation, Radiations Electro-  
iques Absorption IR et UV, Présence de traceurs  
pes) radioactifs

25

### Paramètres chimiques

- 510 : Vieillissement/auto-oxydation et vitesse de dégradation/décomposition.
- 511 : Peroxydes hydrogénés/autres oxydants.
- 512 : Produits réactifs : radicaux libres, atomes d'oxygène et d'hydrogène, charges électrostatiques.
- 513 : Autres produits dangereux.
- 514 : Impuretés chimiques.
- 515 : Produits de dégradation/Age.
- 516 : Oxygène dissous.

- 517 : Impuretés biologiques.

#### **Commandes de Moyens**

- 521 : Alarmes.
- 5 - 522 : Vannes, Clapets, Pompes.
- 522 : « Airbags ».
- 523 : Générateurs de mousse à effet retardant.
- 524 : Brumisateur/Moyens de refroidissement de vapeurs/gaz, parois.
- 10 - 525 : Transmetteur/Récepteur de données.
- 526 : Enregistreur.

#### **Fonctions**

- 531 : Nettoyage du carburant/produit.
- 532 : Stabilisation/injection d'auto-oxydants.
- 15 - 533 : Refroidissement du carburant/produit.
- 534 : Recyclage/stockage temporaire.
- 535 : Régénération de cartouche de sorption.
- 536 : Injection de gaz inerte.
- 537 : Purge/ventilation/balayage.
- 20 - 538 : Extraction.
- 539 : Ré-injection de carburant/vapeurs dans le circuit.

Toutes les données entrantes et sortantes peuvent être enregistrées. Certaines d'entre elles sont 25 communiquées à distance, en temps réel, à la demande de l'opérateur, à un Centre de contrôle ou de commande. Certaines commandes automatiques de moyens peuvent être soumises à autorisation préalable du Centre, ou programmées pour être annulées/remplacées/contrecarrées 30 par un ordre « manuel » émanant du Centre.

La configuration de la « Boîte Rouge » est sélectionnée de manière adaptée à chaque réalisation particulière du dispositif pour chaque carburant/produit, chaque condition de stockage, de transport, de 35 manutention et chaque environnement.

Par exemple, pour une citerne enterrée (non mobile) isolée, le paramètre d'accélération/décélération n'a pas lieu d'être pris en compte, sauf si, éventuellement, l'emplacement de la citerne se trouve dans une zone à 5 risques sismiques, et donc nul besoin d'être suivi ni enregistré ni intégré dans la « Boîte Rouge ».

D'autres moyens, tels que la ventilation avec de l'air très froid par exemple, disponible en vol aux altitudes de croisière des avions gros porteurs 10 (auxquelles la température extérieure est couramment de moins 50°Celsius), ou avec des gaz brûlés prélevés à la sortie des échappements des moteurs et refroidis par l'air atmosphérique, peuvent être mis en œuvre automatiquement pour évacuer les vapeurs dangereuses, les 15 stocker temporairement dans des réservoirs prévus à cet effet et éventuellement réinjectés dans le carburant pour être brûlés sous contrôle, sur commande de la « Boîte Rouge », ou bien asservies à une commande manuelle du pilote, si ce délai est disponible. Pour des raisons de 20 rapidité et de simplification, certaines commandes automatiques peuvent être transmises par les autres éléments du dispositif directement à certains moyens de sécurisation, tout en informant la « Boîte Rouge » et l'opérateur de ces ordres, activant les alarmes 25 appropriées.

Les données reçues par la « Boîte Rouge » sont comparées aux données prescrites initialement par l'opérateur dans le logiciel de sécurité qui fait partie intégrante du dispositif, afin de mettre en œuvre les 30 moyens appropriés de contrôle, de sécurisation, d'alarme et même de lutte anti-incendie, nécessaires dès que la marge de sécurité imposée est dépassée.

La « Boîte Rouge » est réalisée à partir de matériaux semblables à celui des « Bulles », c'est-à-dire 35 très résistant mécaniquement, chimiquement et

thermiquement, facile d'entretien, avec des raccordements étanches correspondant aux normes d'appareillages en milieu explosif, étant donné qu'une alimentation électrique de faible puissance est probablement 5 nécessaire à son fonctionnement. Par mesure de sécurité et de facilité de maintenance, elle est toujours installée à l'extérieur du dispositif de stockage, du circuit de distribution du carburant/produit dangereux et de toute zone où pourraient se former une atmosphère 10 explosive.

Les données pourront être transférées, notamment sans fil, en continu, à la « Boite Noire » de l'avion et/ou au poste de contrôle/sécurité/pilotage du site industriel ou de stockage concerné.

15 En cas d'urgence, soit parce que le temps écoulé dans un volume quelconque s'approche du délai d'auto-inflammation du mélange présent à l'intérieur, la température des produits ou la concentration d'oxygène font craindre une inflammation quasi-spontanée, soit en 20 cas d'impact et/ou de déchirure/perforation de l'enveloppe entraînant un déversement massif de carburant ou de produit toxique et/ou polluant, ou parce qu'une forte élévation de température de l'enveloppe ou de la paroi du réservoir laisse présumer la présence d'un 25 incendie dans le voisinage immédiat du dispositif, la « Boîte Rouge » commande par exemple l'ouverture ou la fermeture d'une ou plusieurs vannes de sécurité et pompes pour la vidange ou le transvasement du produit, son refroidissement ou celui de ses vapeurs, le déclenchement 30 d'un (ou plusieurs) airbag(s) ou d'un générateur de mousse à effet retardant, un système de ventilation/purge ou d'injection de gaz inerte, et même des refroidisseurs d'atmosphère tels que des brumisateurs d'eau par exemple tels que des échangeurs de chaleur, ou encore, en cas de

départ de feu, les moyens de lutte contre l'incendie qui font partie du dispositif.

5 Ces moyens comprennent aussi le déclenchement d'une alarme destinée au personnel opérationnel et/ou aux personnes responsables de la sécurité, par exemple par l'intermédiaire d'un indicateur sur un tableau de bord, d'un signal sonore ou d'une transmission par ondes électromagnétiques.

10 Plusieurs détecteurs peuvent être situés dans un même réservoir pour mesurer la concentration de gaz dangereux en différentes parties de ce réservoir. Ces détecteurs peuvent être composés de diodes infrarouges, d'instruments de mesure d'absorption ou d'émission d'ondes électromagnétiques, d'électrons ou de 15 radioactivité, ou d'autres types de détecteurs/capteurs connus transmettant des informations notamment sans fil.

20 Selon une variante du dispositif, la détection de vapeurs d'hydrocarbures s'effectue en ajoutant au carburant liquide un élément traceur chimique ou un isotope radioactif, tel que le carbone 14, et permet ainsi de détecter une fuite éventuelle de carburant ainsi que de doser la concentration de vapeurs d'hydrocarbures dans les espaces libres d'un stockage confiné ou semi-confiné.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de sécurisation/contention de produit (106) dangereux et/ou potentiellement réactif lors de son stockage, son transport, sa manutention dans 5 un environnement de dimensions industrielles à pression et température sensiblement atmosphériques, ce produit étant contenu dans un réservoir (100), caractérisé en ce qu'il est agencé pour conserver le produit à l'abri de tout contact avec l'oxygène atmosphérique même en cas de 10 rupture structurelle du réservoir.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins un des éléments contenant le produit est constitué d'une enveloppe (104) étanche, déformable ou non, contenant le produit.

15 3. Dispositif selon la revendication 2 caractérisé en ce que l'enveloppe est elle-même enclose complètement par au moins un coussin gonflable étanche (110) de type « airbag ».

20 4. Dispositif selon la revendication 3 caractérisé en ce que le gonflement d'au moins un organe de type « airbag », lors de son activation, est assuré au moyen d'un gaz inerte et incombustible, tel que l'azote ou l'argon pour les carburants, non-réactif notamment vis-à-vis du produit stocké et de ses produits de 25 décomposition.

30 5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour contrôler la stabilité et/ou la réactivité initiale du produit, assurer le suivi continu de son niveau de dangerosité, notamment sa composition, son âge, sa vitesse de vieillissement et les paramètres, tels que sa température et la concentration des réactifs les plus significatifs, pour mettre en œuvre, manuellement ou automatiquement, à partir de valeurs prédéterminées, des 35 moyens d'alarme et d'intervention, ces moyens

d'intervention permettant notamment de corriger, en tant que de besoin, les paramètres physiques ou chimiques nécessaires pour éviter un emballage réactif incontrôlable.

5       6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le(s) produit(s) réactif(s) et/ou dangereux comprend(nent) au moins un produit choisi dans le groupe comportant : les carburants, les produits chimiques présentant un danger 10 d'incendie/explosion spontané(e) au contact de l'air ambiant, ainsi que les produits toxiques et/ou polluants vis-à-vis du milieu ambiant.

15       7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour retarder ou empêcher le déversement du produit à l'air libre, notamment en cas d'impact accidentel ou d'exposition imprévue à la chaleur d'un incendie environnant.

20       8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des éléments successifs qui entourent une enveloppe contenant le produit, dont les parois apportent chacune au produit dangereux contenu un degré de protection chimique, physique, thermique et/ou mécanique supplémentaire par rapport à l'enveloppe.

25       9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un détecteur et/ou un capteur, et/ou un détecteur faisant partie d'un microordinateur, visant à transmettre des données à une unité centrale ou à un centre de contrôle, notamment par liaison sans fil et/ou par fibres optiques.

30       10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'intervention aptes à être mis en œuvre en fonction des données transmises par des détecteurs ou capteurs, et/ou

des capteurs faisant partie d'un microordinateur, pour parer aux risques encourus.

11. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend au moins 5 une membrane (410 ; 411) perméable sélective de sorption ou dissolution ou diffusion permettant d'extraire les vapeurs et gaz potentiellement dangereux contenus dans au moins un élément du dispositif.

12. Dispositif selon l'une des revendications 10 précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une membrane perméable sélective permettant d'injecter un inhibiteur/stabilisateur dans le produit ou dans ses vapeurs, ou un gaz inerte destiné à la purge et/ou 15 ventilation des espaces libres du réservoir, et des autres éléments, notamment de stockage, de ce dispositif.

13. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de génération et d'injection dans le réservoir, autour d'une enveloppe contenant le produit et/ou autour d'au 20 moins un coussin gonflable de type « airbag » ou d'un autre élément, de mousse à effet retardant, auto-solidifiante ou non, incombustible et inerte vis-à-vis du produit stocké, destinée à contribuer à l'étanchéité et à la protection de l'enveloppe, en protégeant le produit 25 physiquement et thermiquement des parois et du milieu ambiant.

14. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte au moins une 30 vanne de sécurité (116 ; 118) contrôlant l'entrée et/ou la sortie de produit d'un élément du dispositif ou l'entrée d'air ambiant en cas d'avarie du circuit de distribution ou de rupture de son raccordement avec l'extérieur, notamment à la suite d'un impact.

15. Dispositif selon l'une des revendications 35 précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend un élément

5 doté d'au moins un mécanisme situé à une entrée et/ou à une sortie d'une enveloppe contenant le produit stocké de façon à fermer par scellement les orifices de l'enveloppe ainsi que ceux du coussin gonflable de type « airbag »

5 qui l'enclot, tout en les désolidarisant des parois du réservoir.

10 16. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend au moins un moyen de récupération des gaz, produits réactifs et/ou toxiques, vapeurs inflammables à caractère dangereux, toxique et/ou polluant, extraits d'un élément du dispositif, notamment de l'enveloppe, en vue de leur stockage temporaire sécurisé, leur condensation, recyclage ou neutralisation, s'il y a risque d'auto-inflammation ou explosion ou d'échappement accidentel

15 dans le milieu ambiant.

20 17. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'enveloppe dans laquelle est contenu le produit dangereux est un élément qui présente au moins une des caractéristiques sélectionnées dans le groupe comprenant :

25 - une étanchéité et une inertie chimique notamment vis-à-vis du produit stocké, de ses vapeurs et de ses sous-produits d'auto-réaction, de décomposition et/ou de dégradation, des impuretés chimiques ou biologiques qui pourraient y être incluses, de l'air ou d'un autre réactif ambiant, l'enveloppe comprenant de préférence à cet effet une ou plusieurs couches de matériaux étanches différents,

30 - une résistance mécanique, en cas d'impact, à la perforation et/ou à la déchirure, par exemple en étant composée de deux ou plusieurs couches de matériaux dans lesquelles sont éventuellement incorporées des mailles ou des fibres de « nylon », de verre, de carbone, de « Kevlar », métalliques et/ou synthétiques, tissées ou

non,

- une tolérance à des températures variant de moins 50 degrés Celsius à plus 900 degrés Celsius, de préférence de moins 50 à plus 150 degrés Celsius, et

5 - une faible sensibilité au rayonnement solaire, notamment dans le cas où l'enveloppe est amenée à y être exposée pendant de longues durées, par exemple lorsqu'elle contient un produit stocké en vrac.

10 18. Dispositif selon la revendication 17 caractérisé en ce qu'il comprend des micro et/ou nano capteurs de détection de l'état et des caractéristiques de l'enveloppe, notamment de type autonome sans fil ou reliés, par exemple par fibre(s) optique(s) à un centre de contrôle, de surveillance et d'activation de moyens 15 d'intervention du dispositif.

19. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'enveloppe présente au moins un point haut afin que des bulles, des vapeurs ou des gaz présents dans le produit stocké tendent à 20 s'accumuler dans ce point haut.

20. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour évacuer les gaz et/ou les vapeurs accumulés, notamment dans un point haut d'une enveloppe, par exemple 25 pour les récupérer, les diriger vers un stockage sécurisé, les stabiliser, les neutraliser ou les brûler de manière contrôlée, par exemple dans un moteur ou une torchère, ou pour les réinjecter dans le produit ou dans un circuit de distribution.

30 21. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour effectuer au moins une des opérations suivantes :

- effectuer le suivi de la température du produit et la comparer à au moins une valeur fixée par 35 l'opérateur,

- refroidir le produit au niveau prescrit pour assurer la marge de sécurité imposée par rapport au risque ambiant d'un apport d'énergie accidentel dépassant la valeur requise pour son auto-inflammation/explosion,

5 - contrôler la stabilité du produit,

- détecter la présence de vapeurs dangereuses, notamment inflammables et/ou explosives, dans les éléments du dispositif à l'extérieur d'une enveloppe contenant le produit, et en évaluer le danger en fonction de leur température et de leur concentration et de celles de l'oxygène et/ou autres réactifs,

10 - comparer des valeurs mesurées à des valeurs prédéterminées afin d'ouvrir ou de fermer au moins une soupape ou une vanne et/ou d'activer notamment des moyens de remplissage/vidange, de gonflement, de purge, de ventilation, d'injection de produits neutralisants, de refroidissement, et de récupération.

22. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour effectuer au moins l'une des opérations suivantes :

- détecter un impact,

- déceler une fuite du produit contenu dans une enveloppe,

25 - déceler et mesurer une élévation de la température du produit, et/ou des parois du réservoir et de celles d'un (des) autre(s) élément(s) du dispositif,

- effectuer le suivi de la durée de stockage du produit et la comparer avec une durée limite éventuellement prescrite par le fournisseur,

30 - évaluer son degré et/ou sa vitesse de vieillissement.

23. Dispositif selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend au moins un capteur tel que des fibres piézoélectriques incorporées dans la paroi d'un organe de type « airbag », et des

moyens tels qu'une vanne, pour empêcher que l'organe de type « airbag » ne se gonfle à une pression trop élevée par rapport aux spécifications des structures du réservoir, et l'empêche ensuite de se dégonfler après 5 avoir atteint le volume désiré pour assurer la protection optimale d'une enveloppe contenant le produit et du produit stocké.

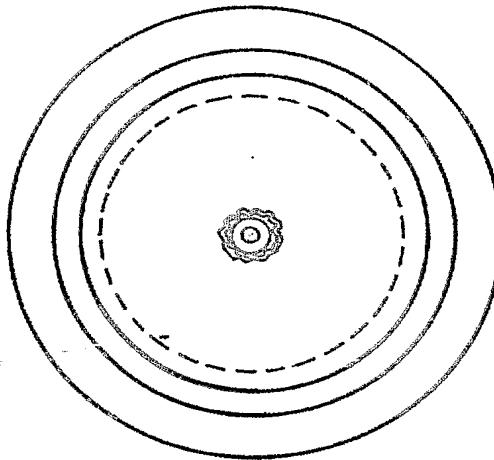
24. Application du dispositif selon l'une des revendications précédentes à un véhicule terrestre, 10 spatial, maritime ou fluvial.

25. Application du dispositif selon l'une des revendications 1 à 23 au stockage, au transport, à la manutention de produit en vrac, emballé ou non, et/ou dans un espace ou réservoir confiné.

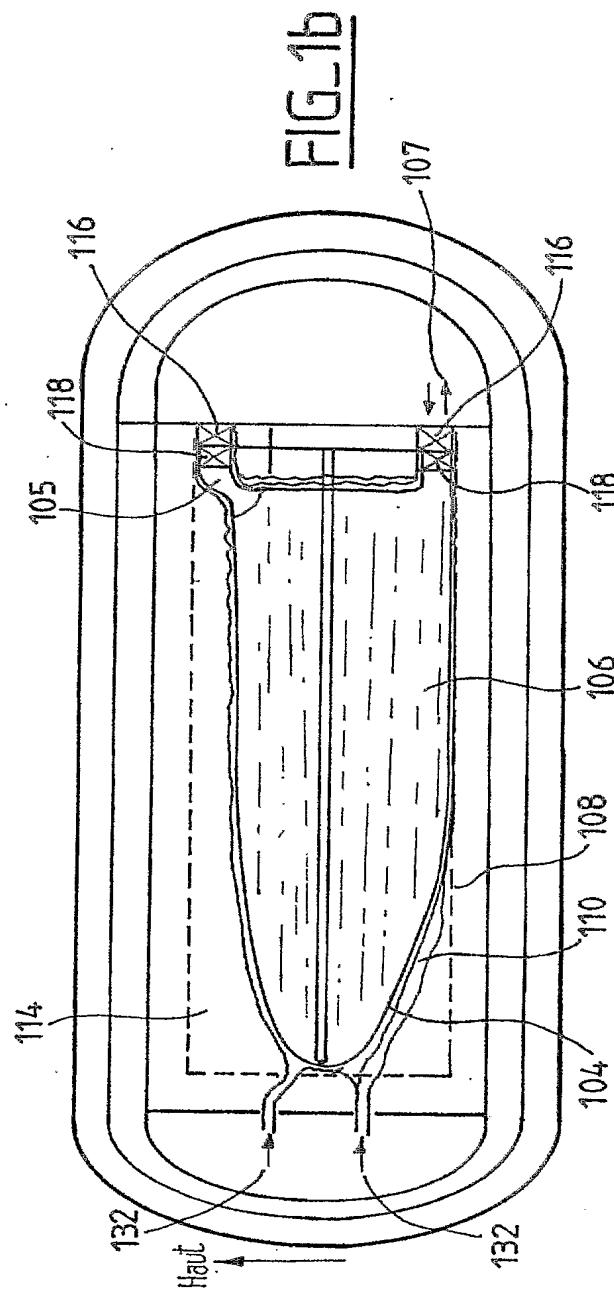
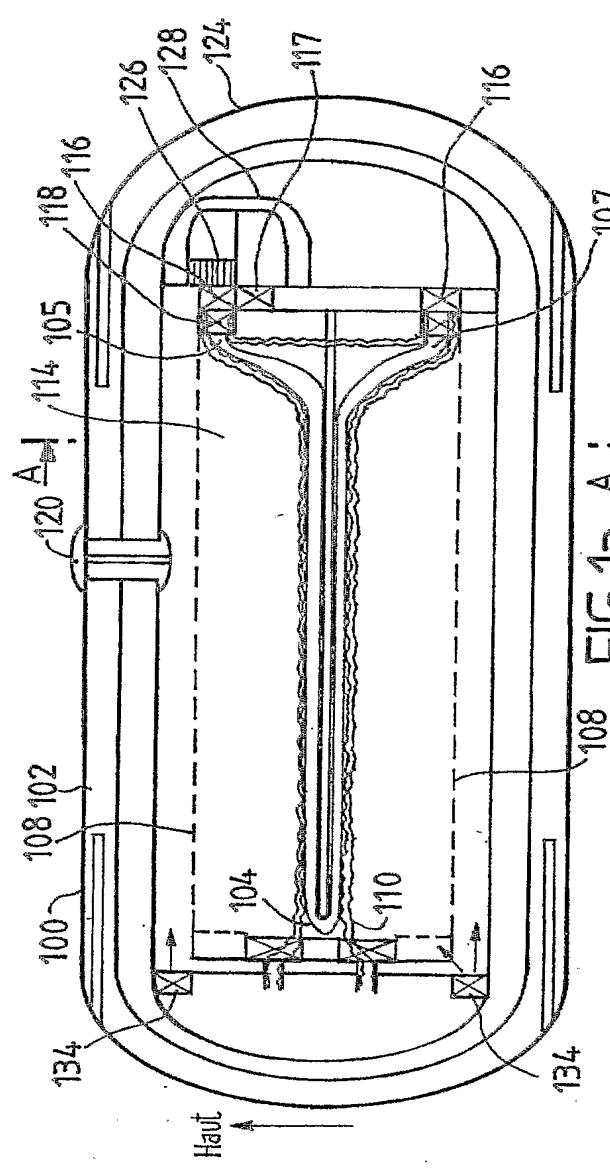
15 26. Application du dispositif selon l'une des revendications 1 à 23 au stockage, au transport, à la manutention d'un produit qui se présente sous forme de gaz, de liquide, notamment de vapeurs, de brouillard, de gouttelettes, ou de solides, par exemple sous forme de particules, de grains, de granulés, de poudre, de 20 poussière, de farine, de copeaux, de fibres, de feuilles ou de matériau poreux.

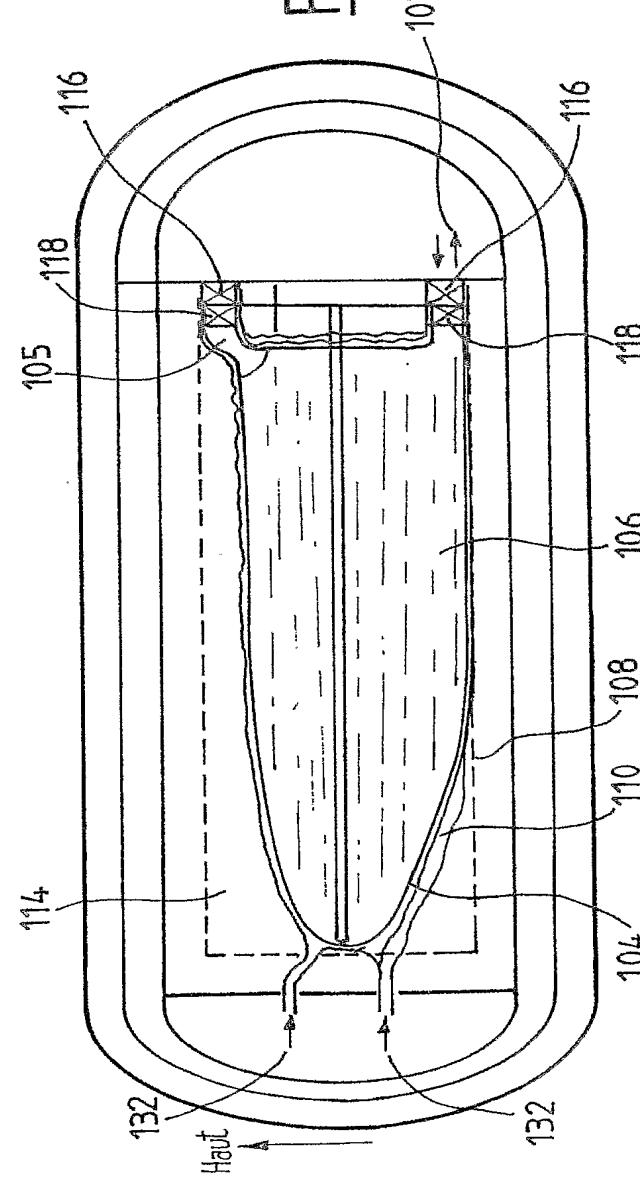
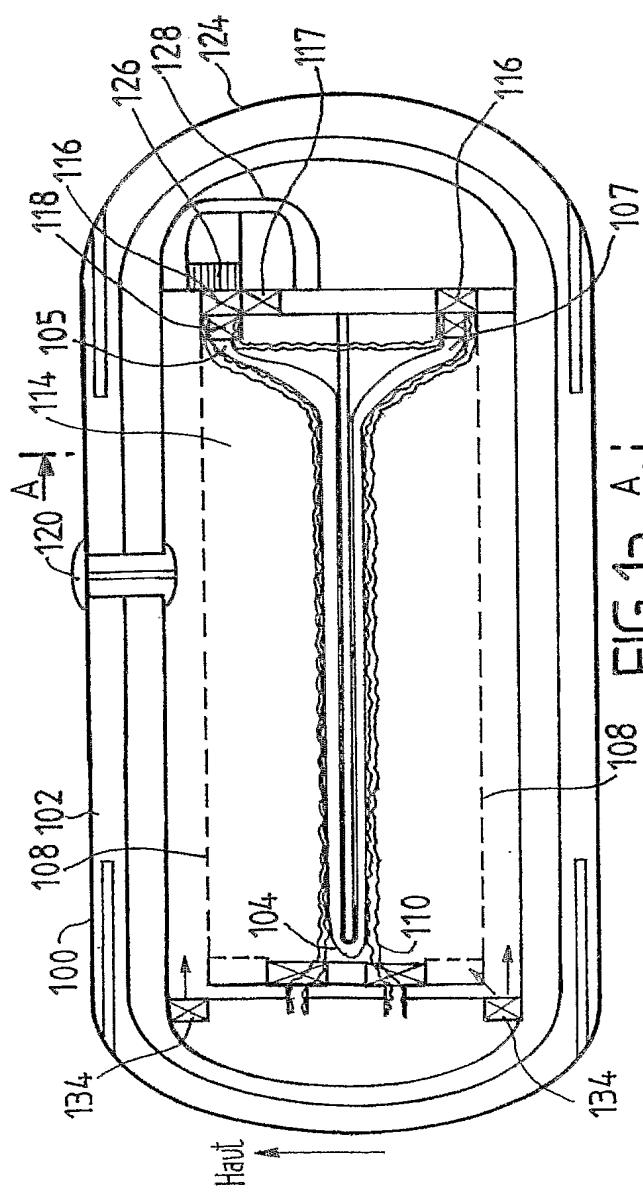
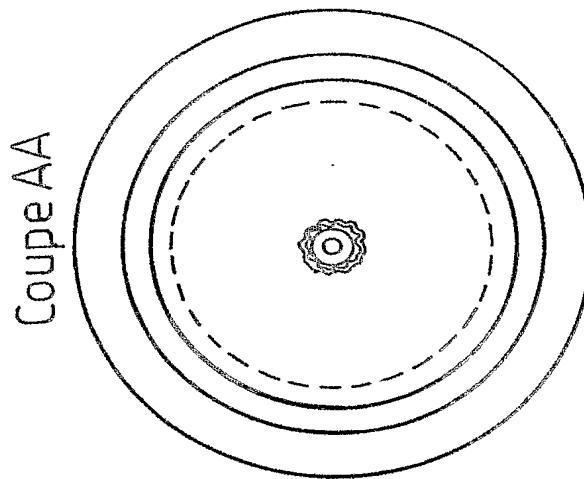
1/6

Coupe AA

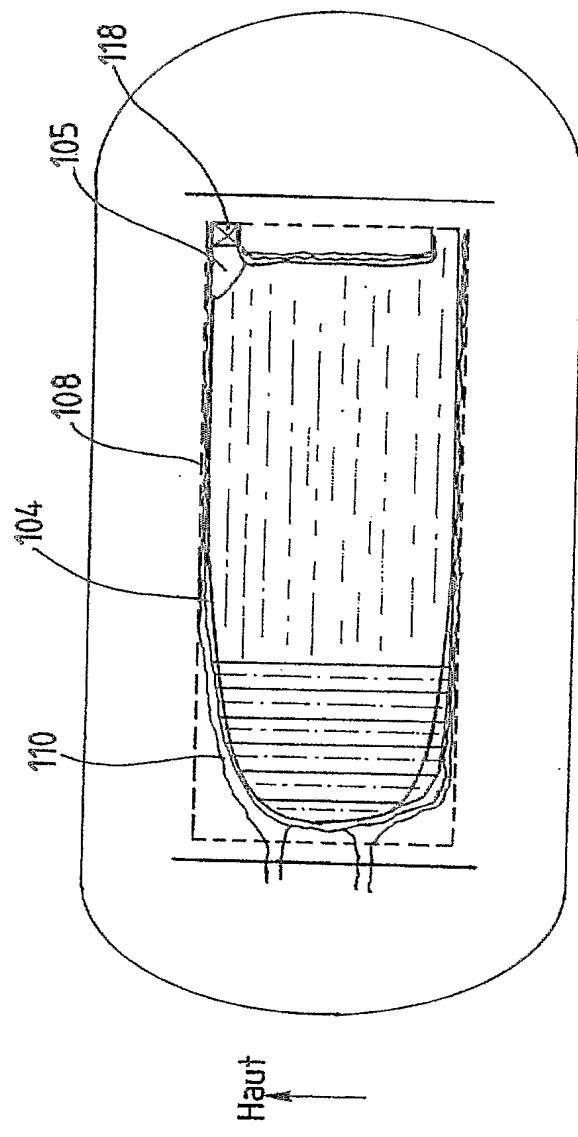
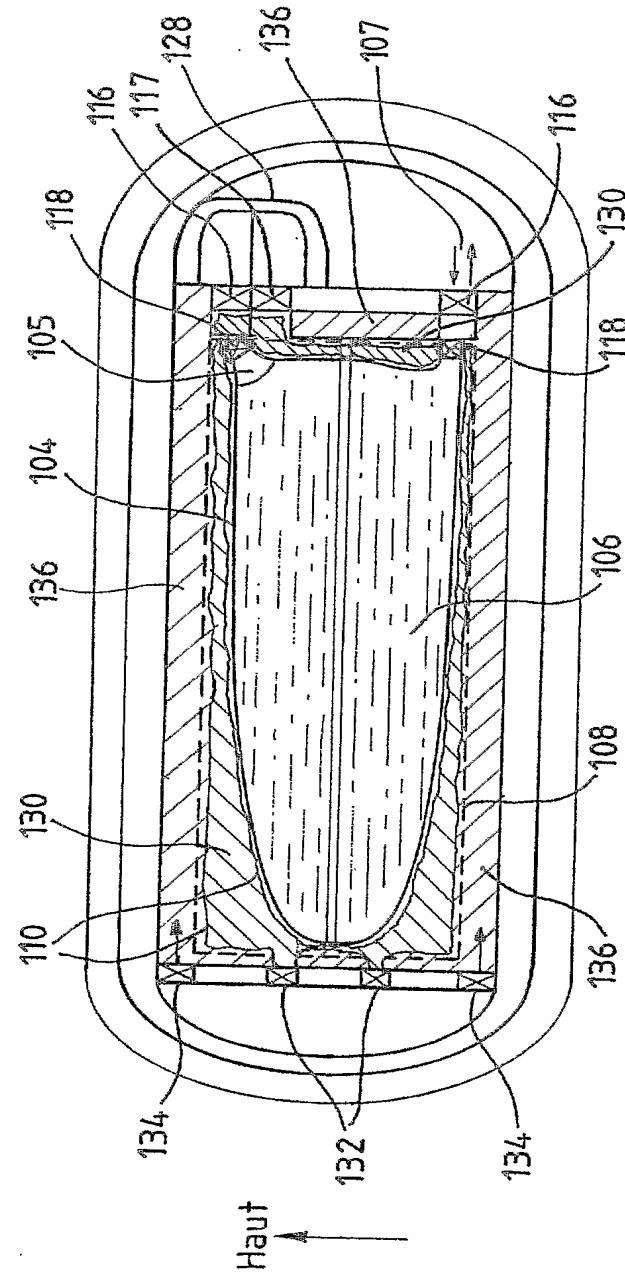


FIG\_1c



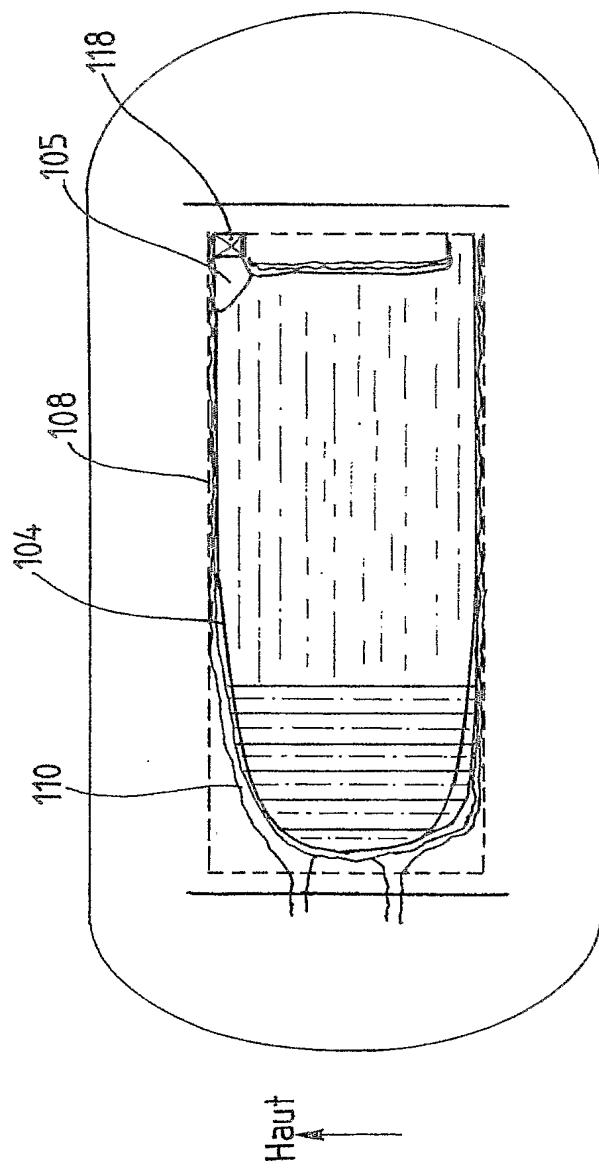


2/6

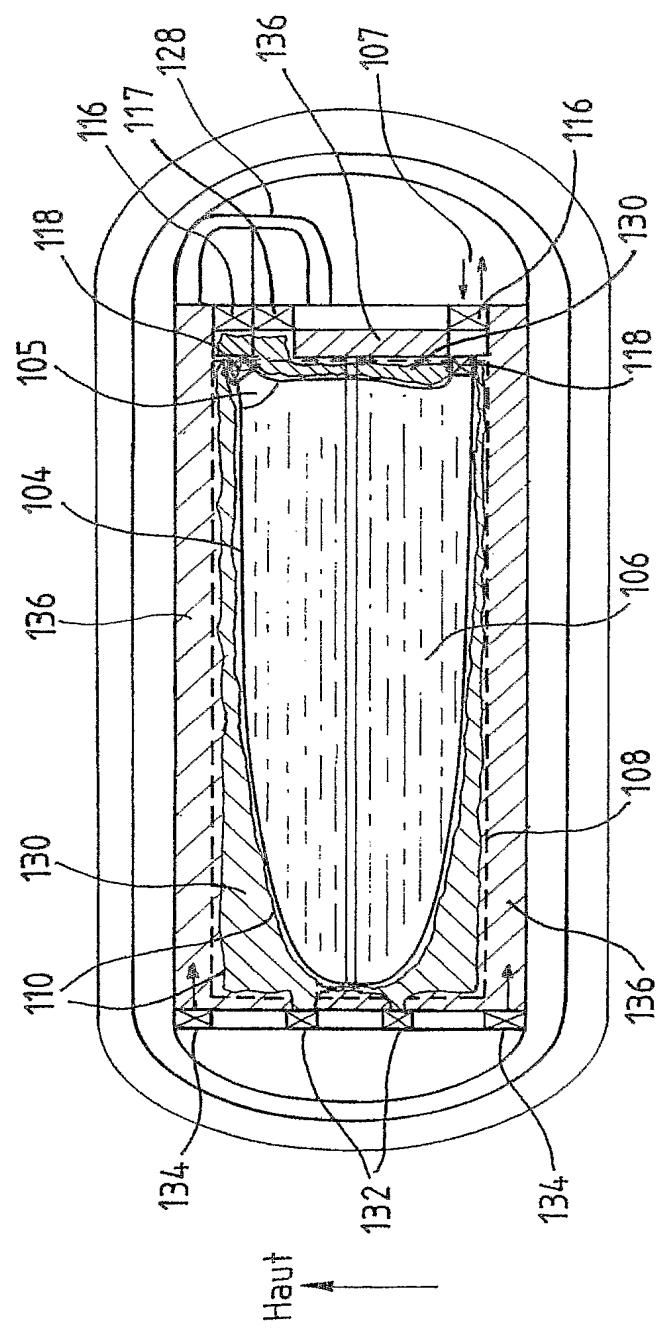
FIG\_1eFIG\_1d

2/6

FIG\_1e



FIG\_1d



3/6

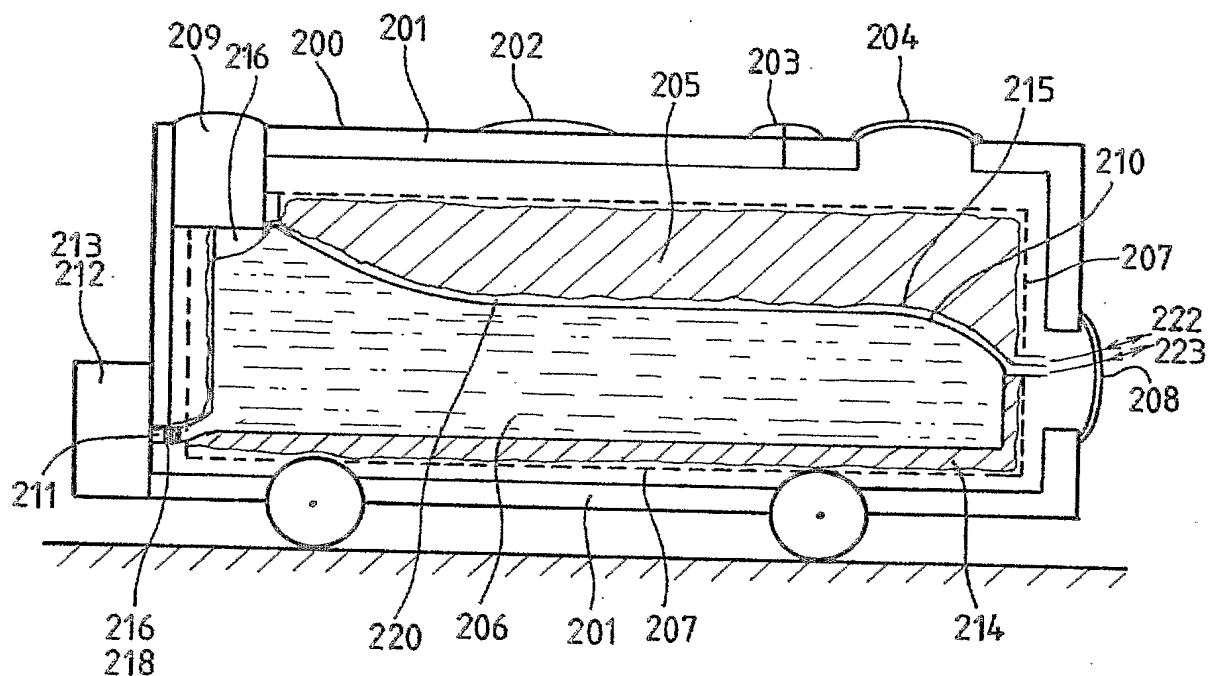
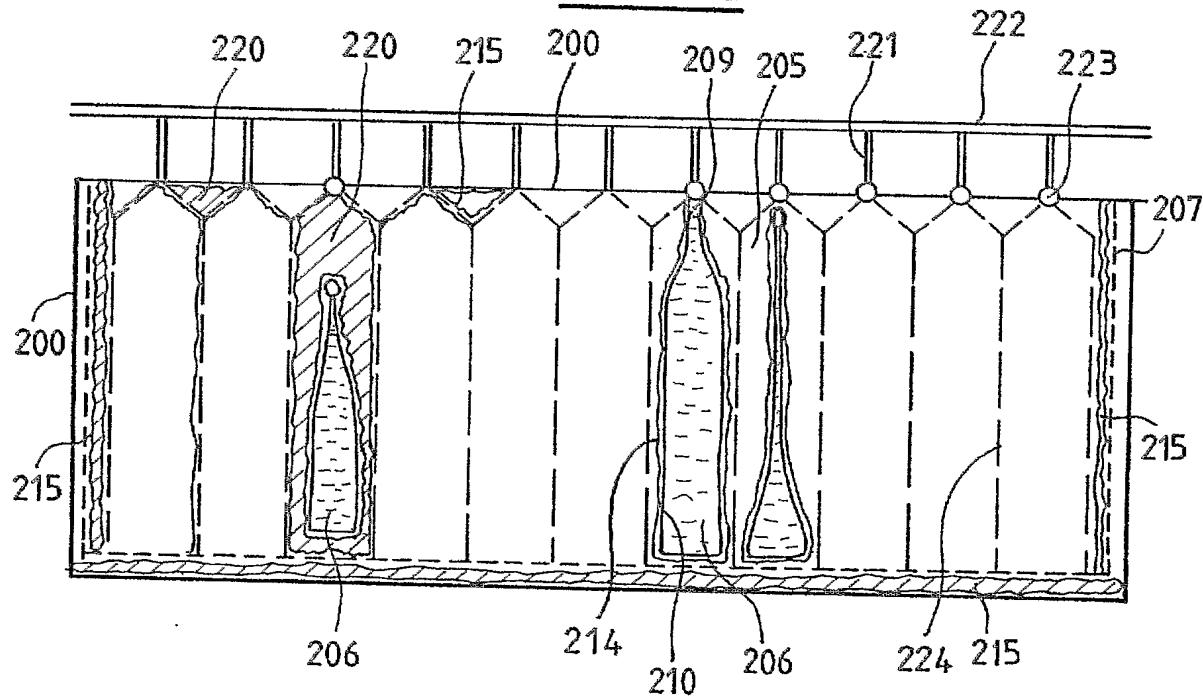
FIG\_2aFIG\_2b

FIG-2a

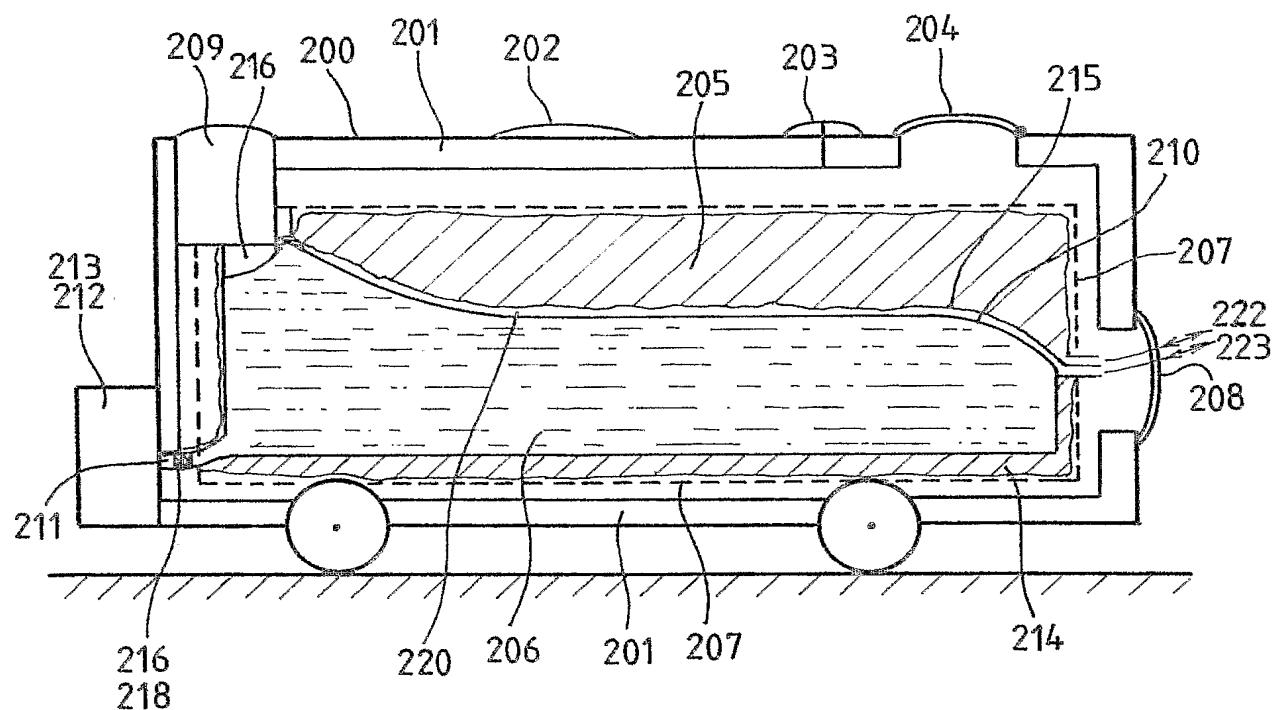
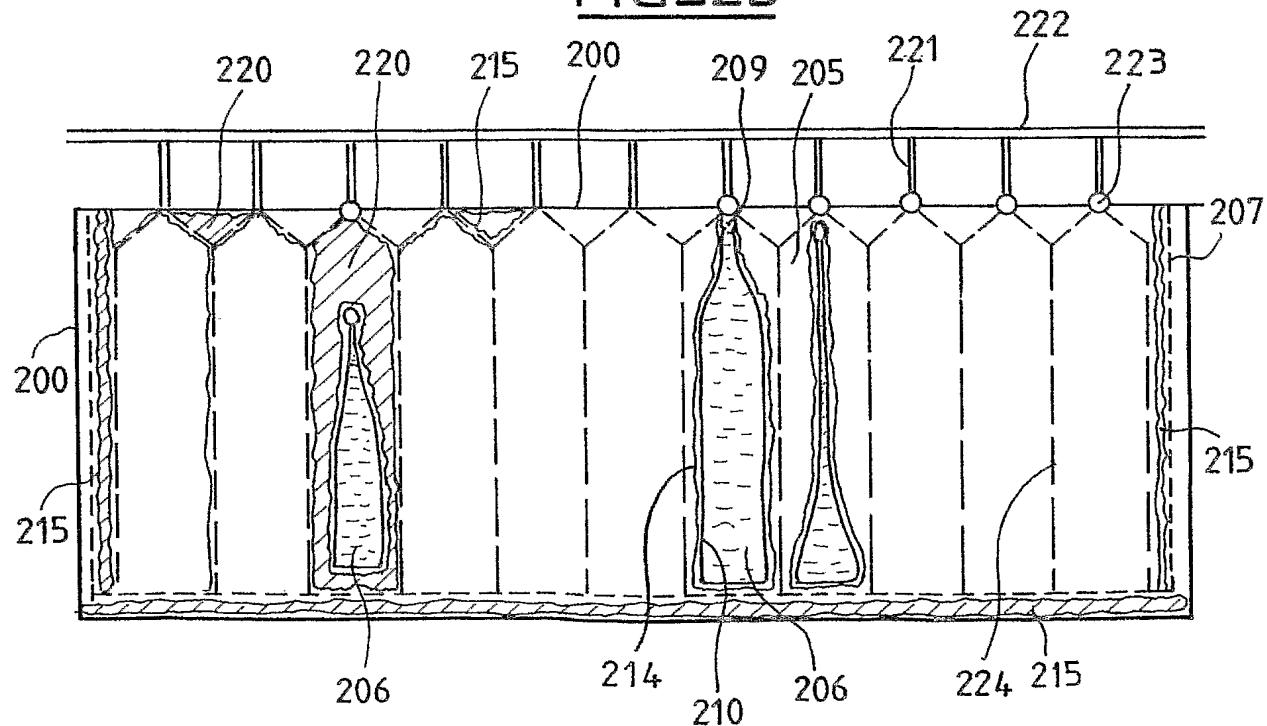
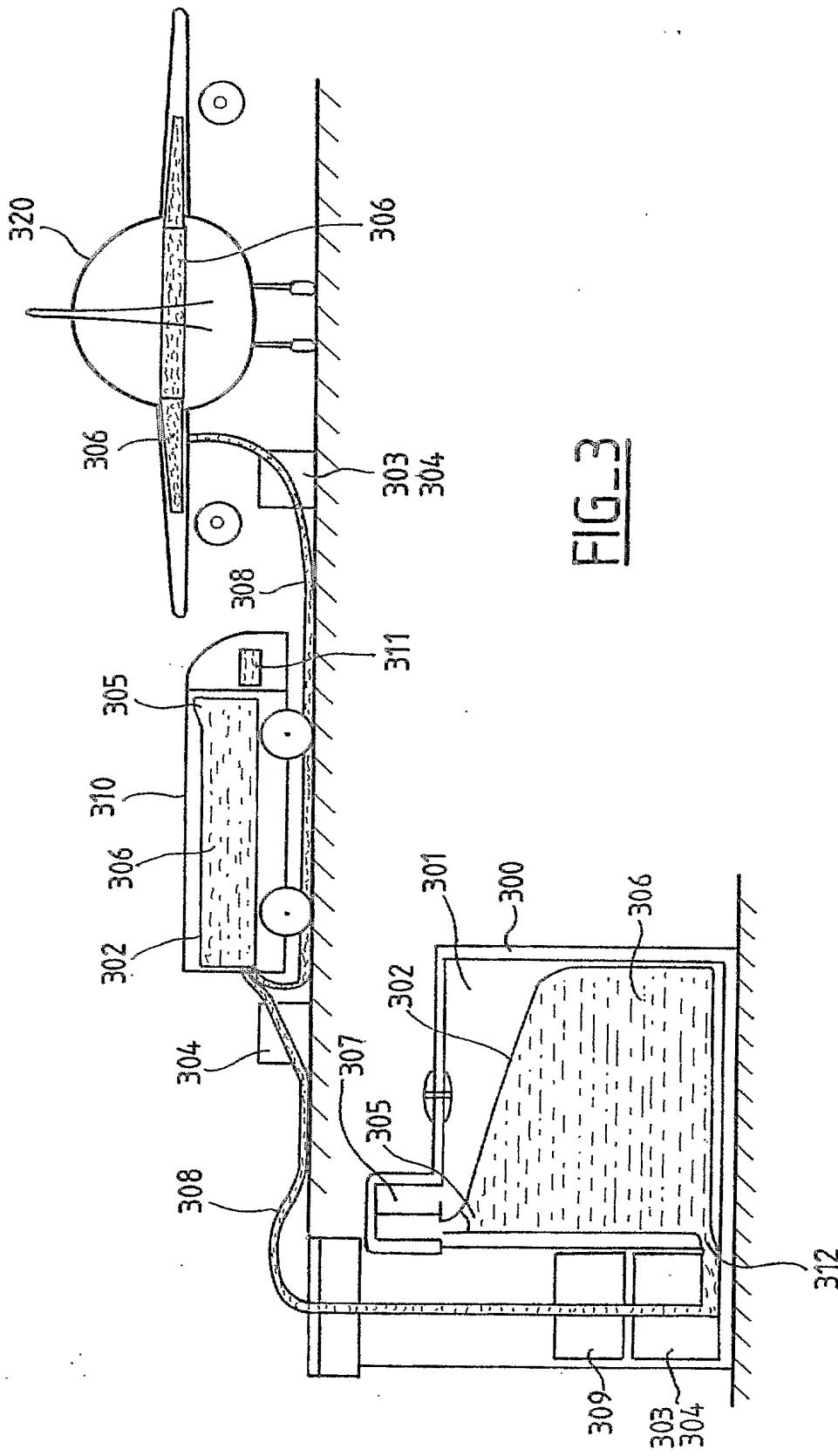


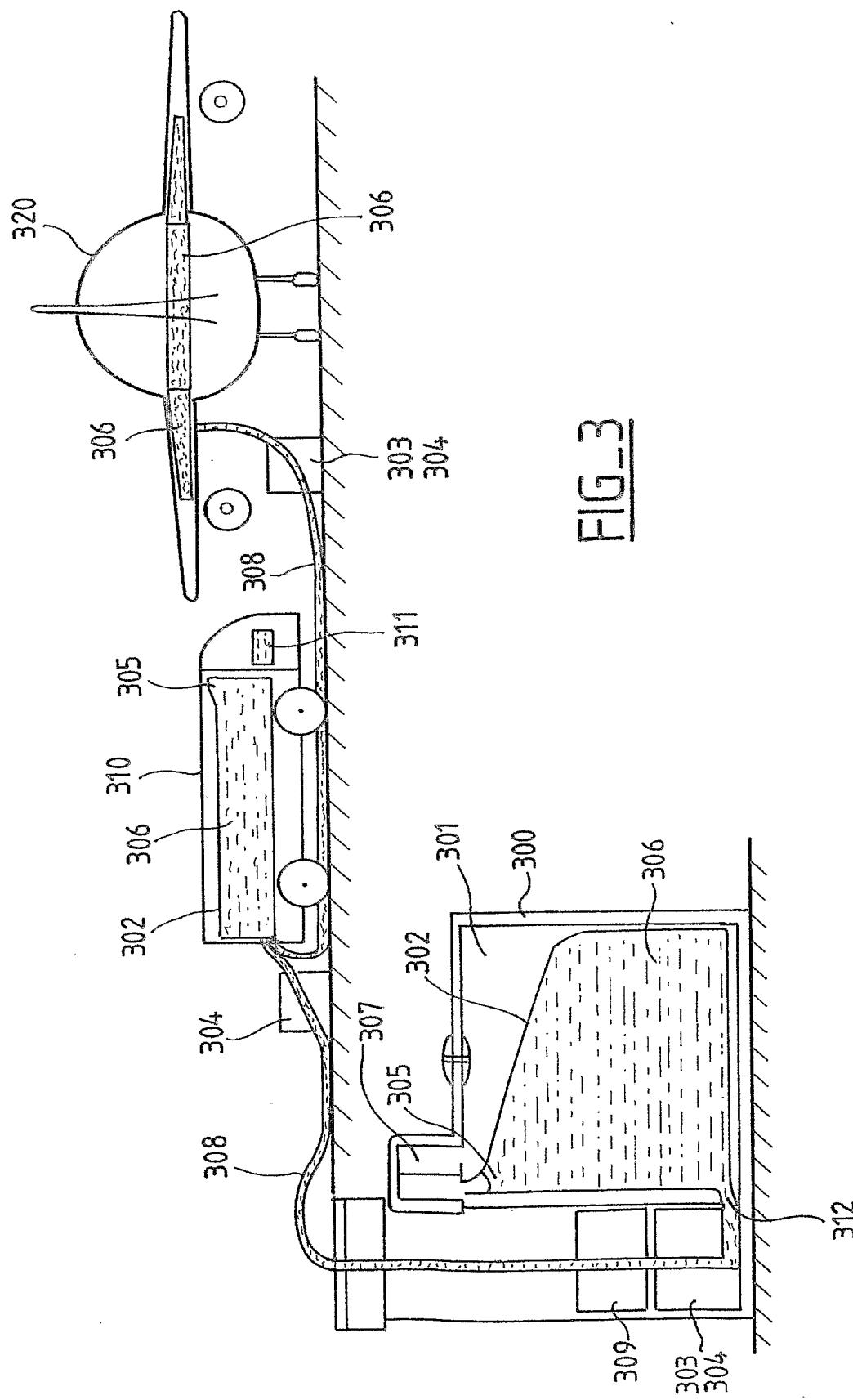
FIG-2b



4/6



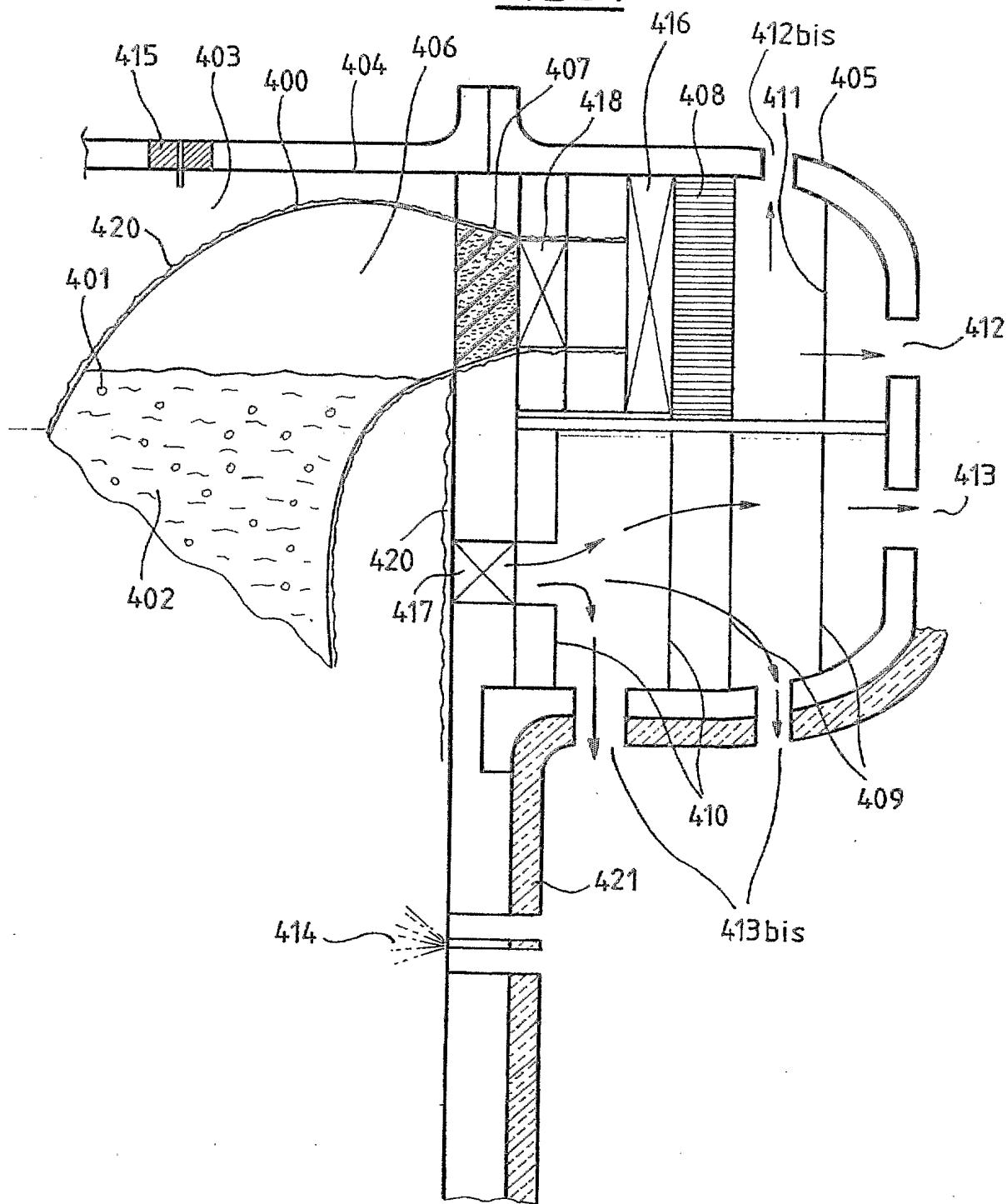
4/6



三  
正

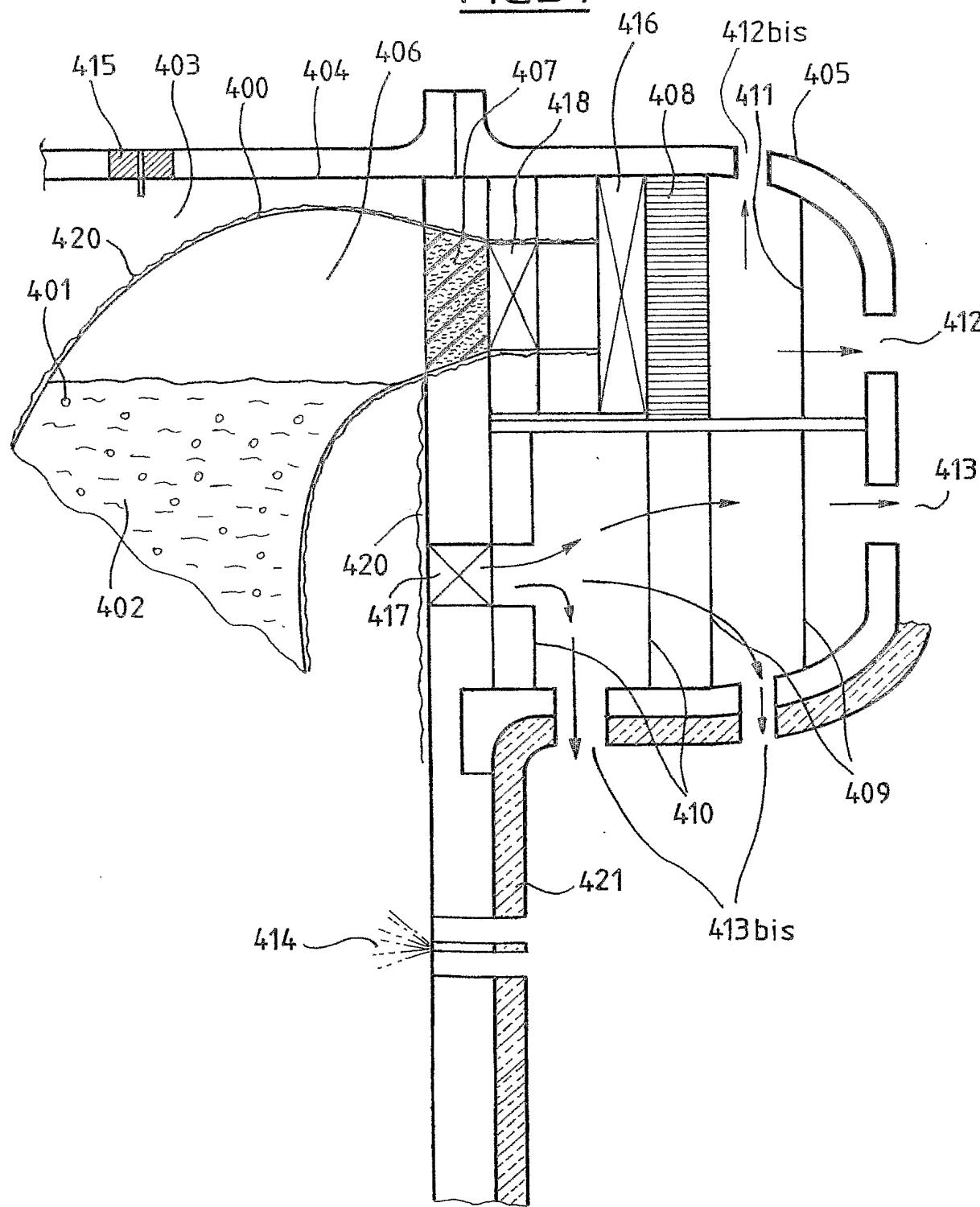
5/6

FIG\_4

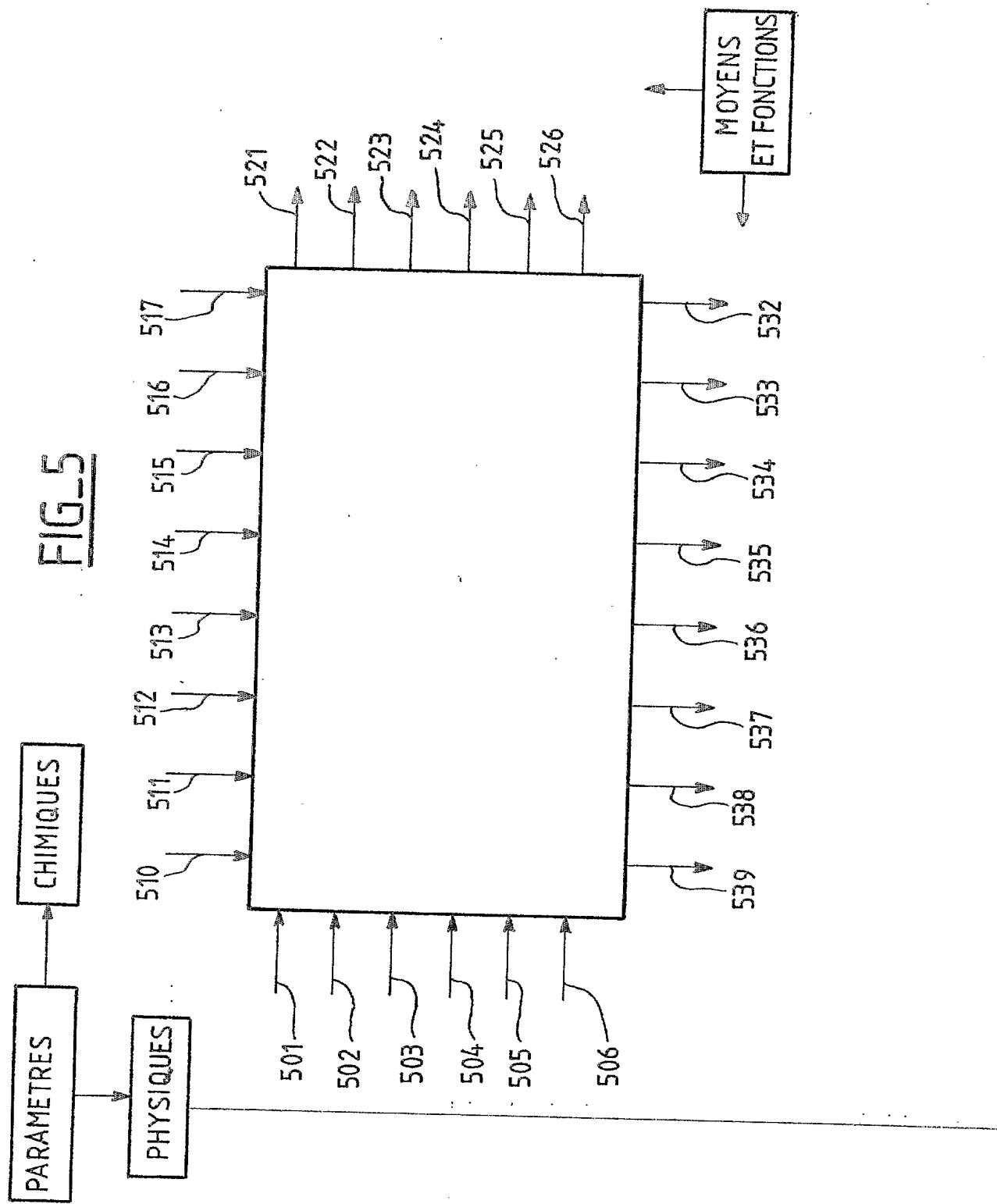


5/6

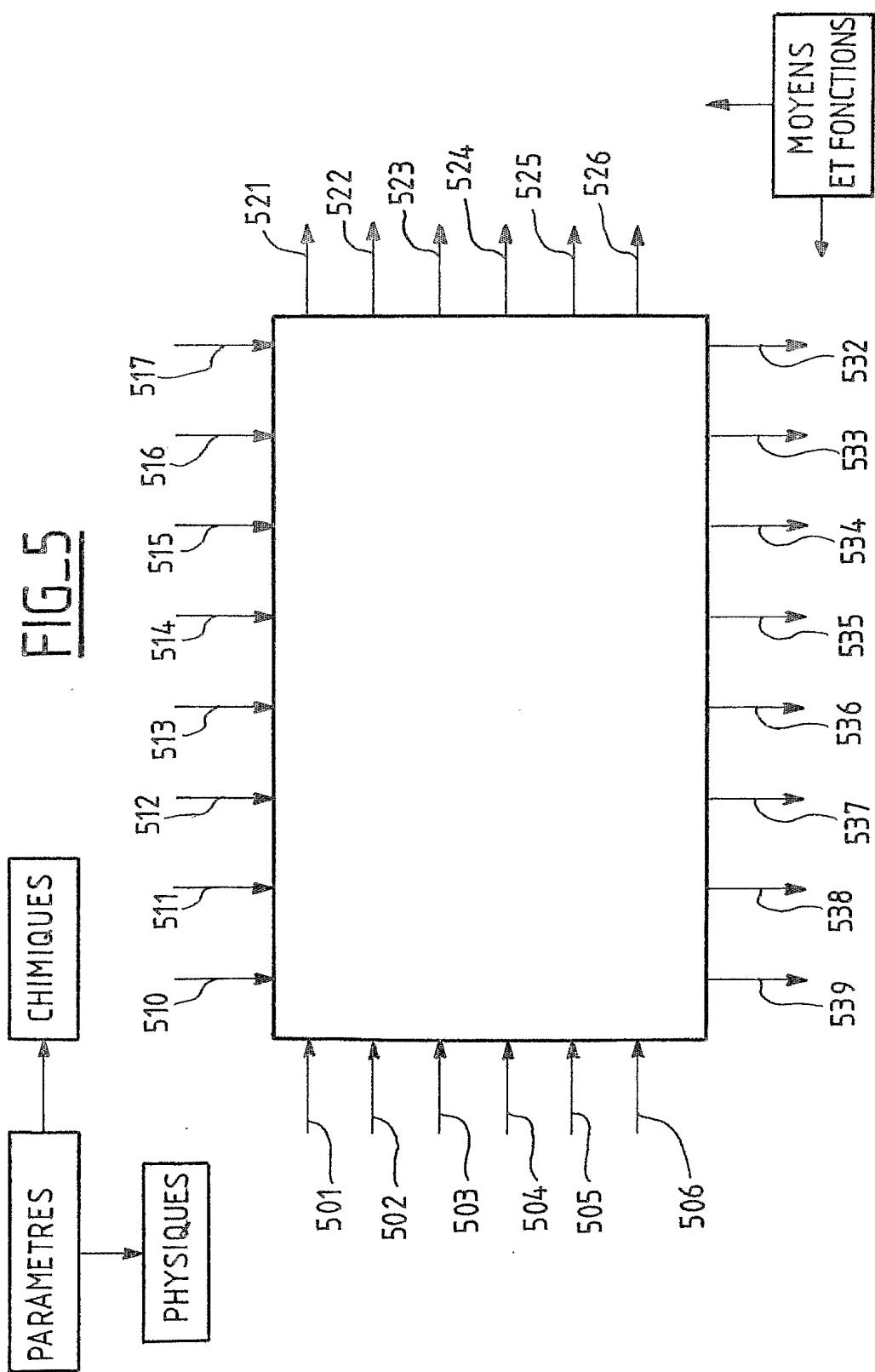
FIG-4

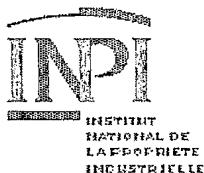


6/6



6/6





## BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITE

### Désignation de l'inventeur

Vos références pour ce dossier	B10972-2
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b>	
DISPOSITIF DE SECURISATION DE STOCKAGE, DE TRANSPORT, DE MANUTENTION DE PRODUITS DANGEREUX, COMBUSTIBLES, COMBURANTS, CORROSIFS, TOXIQUES ET/OU POLLUANTS	
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	DES CLERS
Prénoms	Bertrand
Rue	9 quai Malaquais
Code postal et ville	75006 PARIS
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

#### Signé par

Signataire: FR, Cabinet Grynwald, A.Grynwald

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

#### Fonction

CABINET GRYNWALD (Mandataire 1)



PCT/FR2005/050193

